

高等学校教材

工程类

工程与水文环境地质学

ENGINEERING AND HYDROLOGICAL ENVIRONMENTAL GEOLOGY

孙绪金 万林海
李志萍 李尉卿
编著

科学出版社

序

全球已进入 21 世纪。《21 世纪议程》的核心是人类社会的可持续发展问题。当前各国政府已充分认识到，为达到可持续发展的目的，必须坚持生态、环境、经济和社会的协调发展。我国政府也在 90 年代初毫不例外地正式宣布把可持续发展作为我国的基本国策。伴随着工程活动的大规模进行，人口的增加与城市化的高速发展，我国的水资源、生态与环境问题日益突出和恶化，形势极其严峻，这是有目共睹的事实。

江泽民总书记曾在 1990 年提出要认真研究解决水的问题。人无远虑，必有近忧，应该未雨绸缪。去年党的十五届五中全会决议中，也进一步指出了要大力解决水资源的合理开发与有效利用问题，并且这一精神直接体现在了国家“十五”发展计划纲要中，并用大量文字阐明我国水资源与生态环境现状的严峻形势及解决水资源开发利用与生态环境建设协调问题的迫切性。

另一方面，基于教育改革的需要，我国高等学校的专业已做了大范围调整。过去源于前苏联的水文地质学与工程地质学的专业划分发生了重大变化。新的学科建设越来越与工程实践紧密结合，并力求反映国际当前科学发展的现状，以与国际接轨。一些新的边缘学科也正不断涌现，这在我们地质学界也是如此。

因此，由华北水利水电学院孙绪金教授主编的《工程与水文环境地质学》在这样的背景下问世，并与国际学科发展相接轨，是非常必要非常及时的，应该说是一本“应运而生”的好教材与好参考书。

本书的编写集中了国内外大量先进的科研成果，反映出作者们对本学科及相邻学科的进展有相当充分的了解，并能结合他们自身学识与教学经验的积累，合理地建立起《工程与水文环境地质学》这门综合学科的体系。我认为全书的九章内容很丰富，结构十分严谨，能够科学地阐述这门学科的主导学术思想与规律，故本书的科学性与先进性均强，能反映出本学科领域的现代发展水平。这与主编孙绪金教授多年在美国堪萨斯大学随著名水文水资源学家余云生（Yun—Sheng Yu）先生进修有关。本书的编著者集体也是很努力的。由于本学科体系初建，肯定会存在疏漏或不成熟之处，可以在今后的教学实践中，进一步检验、修改、充实和完善。

本教材的特色体现为地表水与地下水资源的紧密结合，强调了矿山资源开发及工程建设环境地质、农业污染环境地质、工业生产污染环境地质三方面的内容，突出了人类生产与工程建设活动对环境生态的重大影响，很有创新。

基于上述几点，我欣然为此书作序，并建议尽快出版，以满足教学、科研及各有关部门与有关人员的需要。

王秉忱

2001 年 9 月 3 日

前 言

自 20 世纪后期以来，随着人类社会的迅速发展和对自然资源需求的增加。全球性的环境问题已经引起世界各国的高度重视，人们已经认识到环境的重大变化正在直接或间接地影响着人类的生存和社会发展。1972 年和 1992 年的两次世界环境与发展大会使人类越来越认识到环境保护的重要性和迫切性。最近几年召开的一系列国际地质及环境大会一再强调，为了人类的生存和社会发展，人类必须保护环境，与自然和谐相处，坚持生态、环境、经济和社会的协调、持续发展。为此，也特别强调各国政府以及地质与环境方面的专家教授，要为研究解决当前全球性和各国的环境问题作出贡献。

从 20 世纪 80 年代开始，我国的环境问题越来越严重，许多环境问题都是由于不合理地开发利用各种地质资源、不断扩大工程建设和城市建设，以及人们生活水平要求的提高所造成的。环境问题已经成了我国政府和人民关注的焦点。为适应环境的变化和社会需求，我国在环境地质科学理论和实践方面，做了大量的工作，并取得了许多研究成果，使得与环境相关的各个学科有了长足的发展。其中工程与水文环境地质学，作为环境地质学的一个新型学科的分支，已经发展到了新的水平。

为适应我国高等教育体制改革和学科发展的要求，我们编写了《工程与水文环境地质学》。本书的编写积累了作者多年的教学经验和科研成果，并且参考了国内外大量的最新的研究成果，体现了本书专业覆盖面宽、系统性强、知识新颖的学科发展特点。同时也尽量满足对学生实行宽口径专业技术教育和与国际接轨的全新教学模式。为此，本书作为教材，适用于地质工程、水文学及水资源、水土保持及荒漠化防治和环境工程等专业。也可作为相关专业工程技术人员的参考书籍。

全书共分九章，由华北水利水电学院孙绪金任主编。绪论、第一章和第二章由孙绪金执笔；第三章、第一章的 5、6 节由万林海执笔；第四章由张金炳执笔；第五章由李志苹执笔；第六章由杨素珍执笔；第七章和第九章由李志远执笔；第八章由李尉卿执笔；全书由孙绪金统稿。所有图件由周革借助计算机清绘。在编写过程中，承蒙全国政协委员国务院参事王秉忱教授和刘培彬教授给予审校，也得到了学校院系领导和教务处的关怀与大力支持。对于许多同志的大力帮助，在此一并致谢。

书中的疏漏与错误之处，敬请读者给予批评指正。

作 者

2001 年 5 月 15 日

目 录

绪论

第一章 水利枢纽工程环境地质问题 7

1.1 概述	7
1.2 坝址区工程环境地质问题	9
1.2.1 引发坝址区环境地质问题的主要因素	9
1.2.2 坝基岩体变形及破坏问题	10
1.2.3 基础安全性评价	12
1.2.4 基础渗透变形安全性分析	15
1.2.5 水化学侵蚀对坝址区的环境地质影响	17
1.2.6 坝址区工程环境地质问题的防治措施	20
1.3 库区工程水文环境地质问题	22
1.3.1 水库塌岸	23
1.3.2 水库淤积	25
1.4 水库上下游河道的演变	27
1.4.1 河流的基本功能和特征	27
1.4.2 河流水动力作用及对河床的影响	28
1.5 库区诱发地震	32
1.5.1 概述	32
1.5.2 水库诱发地震的特点	33
1.5.3 水库诱发地震的监控	36

第二章 地下水资源开发中的环境地质问题 38

2.1 水资源概论	38
2.1.1 全球水资源概述	38
2.1.2 我国水资源概述	38
2.1.3 地下水资源问题	41
2.2 地下水动力场及化学环境的恶化	43
2.2.1 形成区域性降落漏斗	43
2.2.2 地下水水质变坏和水体污染	44
2.2.3 海水内侵和咸水入侵	47
2.3 地面沉降	49
2.3.1 地面沉降的危害	50
2.3.2 地面沉降类型	50
2.3.3 影响因素及变形机制	51
2.3.4 地面沉降的预测及控制	53

2.4	地温变化及对生态和环境的影响	58
2.4.1	地温的分布及变化规律	58
2.4.2	地下水超采对地温产生的影响	59
第三章	矿产资源开发及工程建设环境地质问题	61
3.1	地面塌陷	61
3.1.1	地面塌陷及危害	61
3.1.2	地面塌陷的产生条件及影响因素	63
3.1.3	地面塌陷类型及形成机理	65
3.1.4	地面塌陷的预测及防治	68
3.2	地裂缝	70
3.2.1	地裂缝的研究目的及意义	70
3.2.2	地裂缝的分布特征及形成机理	70
3.2.3	地裂缝的防治	72
3.3	水土流失	73
3.3.1	全球水土流失状况	73
3.3.2	中国水土流失状况	73
3.3.3	水土流失的危害性	74
3.3.4	水土流失的成因及影响因素	76
3.3.5	防止水土流失的对策和措施	79
3.4	滑坡及泥石流	80
3.4.1	滑坡概念及研究意义	80
3.4.2	滑坡类型特征和影响因素	81
3.4.3	滑坡稳定性评价	83
3.4.4	滑坡预报及防治对策	84
3.4.5	泥石流的发育及危害	84
第四章	农业污染环境地质问题	86
4.1	农药污染	86
4.1.1	农药的种类和特点	86
4.1.2	农药的迁移和降解	90
4.1.3	农药的毒性特征及危害性	95
4.1.4	农药污染的防治与消除	99
4.2	肥料污染	100
4.2.1	化肥污染特征	100
4.2.2	氮素循环及污染	101
4.2.3	磷素循环	106
4.2.4	化肥污染的溶质运移模型	107
4.2.5	化肥污染的危害及防治对策	107
4.3	城市污水灌溉污染	108
4.3.1	城市污水排放及利用现状	108
4.3.2	污水灌溉中的环境地质问题	110

4.3.3 污水灌溉的污染治理对策·····	112
4.4 微生物污染·····	113
4.4.1 地下水微生物污染来源及分类·····	113
4.4.2 细菌和病毒在土壤中存活的因素·····	113
4.4.3 细菌和病毒在土壤和地下水中的迁移·····	114
第五章 工业生产污染环境地质·····	116
5.1 工业污染概述·····	116
5.1.1 工业污染的来源、途径和污染物基本类型·····	116
5.1.2 工业污染的影响范围·····	118
5.1.3 工业污染的对策研究·····	121
5.2 微量金属污染·····	126
5.2.1 铬 (Cr) 污染·····	126
5.2.2 汞 (Hg) 污染·····	127
5.2.3 铁 (Fe) 污染·····	128
5.2.4 铜 (Cu) 污染·····	129
5.2.5 其他微量金属污染·····	129
5.3 微量非金属污染·····	130
5.3.1 砷 (As) 污染·····	130
5.3.2 氟 (F) 污染·····	131
5.3.3 氰化物 (CN ⁻) 污染·····	132
5.4 有机化合物污染·····	133
5.4.1 有机化合物的种类及来源·····	133
5.4.2 有机化合物污染方式及途径·····	136
5.4.3 有机化合物污染的危害及防治·····	138
5.5 油类污染·····	139
5.5.1 油的类型及特征·····	139
5.5.2 油污染的危害性·····	140
5.5.3 石油污染的去除·····	141
第六章 天然地下水文环境地质·····	143
6.1 天然地下水文环境地质研究现状·····	143
6.1.1 国内外研究现状·····	143
6.1.2 研究内容和意义·····	145
6.2 地质环境中元素的迁移与富集·····	147
6.2.1 地质环境中化学元素的迁移·····	147
6.2.2 有机元素在地质环境中的作用·····	151
6.2.3 地理和地质条件对元素迁移及富集的影响·····	153
6.3 地质环境与人体健康·····	154
6.3.1 地貌与健康·····	155
6.3.2 岩石与健康·····	156
6.3.3 土壤与健康·····	157

6.3.4 水质与健康	157
6.4 地质环境与疾病	159
6.4.1 大骨节病	159
6.4.2 氟骨病	164
6.4.3 癌症	166
6.4.4 心血管病	170
6.4.5 其他地方病	173
第七章 工程环境影响评价	178
7.1 环境评价与可持续发展	178
7.2 工程环境影响评价程序	179
7.2.1 发达国家环境影响评价程序简介	179
7.2.2 我国的工程环境影响评价管理程序	182
7.2.3 工程环境影响评价内容	183
7.2.4 评价等级划分	184
7.3 工程环境影响评价方法	185
7.3.1 综合评价方法	185
7.3.2 专项分析与评价方法	188
7.3.3 模糊数学方法	189
7.4 环境风险评价	190
7.4.1 概念	190
7.4.2 环境风险事件发生特征、因素及分类	191
7.4.3 环境风险评价与环境影响评价的区别	192
7.4.4 环境风险识别和影响预测	193
7.4.5 工程环境风险评价	195
7.5 工程环境影响评价报告书内容(实例)	196
第八章 地下水文环境地质调查与影响评价	201
8.1 地下水文环境地质调查	201
8.1.1 地下水文环境地质调查目的	201
8.1.2 调查内容与方法	201
8.1.3 地下水文环境地质资料的搜集与整理	203
8.2 地下水文环境地质监测与实验	207
8.2.1 地下水水质监测	207
8.2.2 地下水动态观测	210
8.2.3 地下水文环境地质实验方法及要求	213
8.3 地下水环境质量评价	221
8.4 地下水环境质量预测	231
8.5 地下水环境影响评价	233

第九章 水土资源环境管理与保护	237
9.1 水土资源环境的管理	237
9.2 水土资源环境保护	240
附录 中华人民共和国环境保护法	244
参考文献	249

绪 论

工程与水文环境地质学是环境科学的一个重要组成部分,是由地质科学发展起来的一个新的学科,也是一个综合性很强的边缘学科。为深入了解本学科的知识,首先对环境科学的发展历史、研究意义及有关的基本概念等做一些简要的介绍,以便于读者对本学科的研究内容、现状、方法及发展趋势等有一定的认识与了解。

一.环境科学概述

1、环境及环境问题

所谓“环境”是指某一中心事物发生与存在的外部条件。环境一般被划分为自然环境和社会环境两类。两者之间具有不同的属性和特征,但它们之间紧密相联。这里所研究的对象主要是自然环境。

由于人类居住和生活繁衍的场所是地球表层,因此,从宏观上来讲,自然环境主要是指地球表层环境,包括大气圈、水圈、岩土圈和生物圈(也有的把人类单独列为一个智慧圈)它和地球内部及外部宇宙环境进行着能量和物质的交换。地球表面的自然环境千变万化,人类的生产和生活受控于自然环境,又导致自然环境的变化,而变化了的环境又反过来对人类产生影响。这种影响有时是有益的,称作正影响;有时是无益的,称作负影响。当负影响危及到生物及人类的正常生产和生活时,就产生了环境问题。因此,环境问题是在人类破坏自然的前提下,产生的对人群健康、生态系统以及自然景观等有负面影响的现象、事实及事件等。

由于环境问题具有跨区域、多系统、多因素的特点,又具演变性、迁移性以及时空上的相互关联和转换性,所以一旦产生环境问题,就往往造成无法弥补的重大损失或恶性循环。因此,研究自然环境的规律、特征、问题和影响,对人类的生存和社会的发展是至关重要的。

实际上,人类在不同的社会发展阶段所造成的环境问题以及对环境问题的认识都是不同的。在古老的石器时期和部落时代,由于人类大规模的围猎和烧荒,使某些物种灭绝,失去了一些具有驯化和引种的物种资源,也使一些适宜人类生存和发展的环境与空间消失。

在奴隶社会和封建社会的一个很长时期内,人类才认识到环境对人类生存的有效性,开始兴修水利、开垦良田、植树造林、培植和保护物种、营造局部优美环境等,但这种文明是脆弱的,还不足以弥补由于破坏环境而造成的损失。战争、瘟疫、不合理的农垦、放牧和滥伐森林等,导致了水土流失、风沙侵蚀与水旱灾害等。据专家考证,我国西北地区原来就有丰富的森林资源,气候湿润,雨量充沛。近千年来,正是由于前人的滥伐森林,才导致了今日西北地区脆弱的生态和严重的荒漠化。据有人测算,秦汉时期由于修建万里长城

和大量的木结构宫殿,毁掉了上百万平方公里的森林。

在高度发达的现代社会,人类对环境和环境问题给予了高度的重视,自 70 年代以来,实施了若干个全球性的环境治理和保护计划。但是,由于人类向自然攫取的过多,所以产生的环境问题也就越多、越严重。特别是现代工业的发展,大量的“三废”(废气、废水、废物)被排放,引起了大规模的环境污染和破坏。这种污染和破坏,已经超出了人体生理所能承受的能力,形成了“公害病”,危及到人类的生存安全和身体健康。据统计,在 20 世纪末,全世界每年向大自然排放的废水已经超过 1000 亿吨,废气中的 CO_2 超过 5 亿吨,固体废物已达到 50 亿吨。这些致癌、致畸、致残的有毒物质,在自然环境中积累、扩散、迁移和转化,大大超过了环境的自净和降解能力,致使人群伤害与死亡事件层出不穷,环境遭到严重破坏。一些世界有名的污染事件,如 50 年代英国伦敦的烟雾事件,洛杉矶的光化学烟雾事件,均引起了全城居民的窒息;日本水俣县的汞中毒事件,致使 300 多人中毒,60 多人死亡;60 年代水体污染事件,仅美国就发生了上百起;1989 年 4 月 6 日,前苏联的切尔诺贝利的核泄漏、核辐射事件,致使几千人受到放射性侵害,几百人死亡;还有印度博帕尔农药厂的化学毒气泄漏,死亡 1200 多人,20 多万人受害;90 年代末期,荷兰的二恶英鸡饲料污染,罗马尼亚在 1999 年多瑙河的氰化物剧毒污染和在 2000 年韦瑟河上的铅污染事件,使铅的含量高出正常值的 2 倍以上,造成了严重的后果。另外,还有全球性的温室效应,地球两极臭氧层的破坏,区域性荒漠化、频繁的河流泛滥成灾、农用杀灭剂引起的大量中毒死亡事件,普遍使用各类生长素间接引起的儿童早熟病等,都是十分明显的环境污染所造成的。由于污染物质在水循环的作用下,最终都将进入水体和土壤,因此,不论哪种污染,都会导致对地质环境的污染和破坏,进而影响人类的生存和身体的健康。

总之,自然环境与人类的生存和发展息息相关,适宜的环境是人类生存与发展的基础和源泉。由于现代社会对自然资源的过度开发和对环境的肆意污染,使自然环境严重受到破坏,生态平衡被打破,物种严重受到干扰,大量自然资源面临枯竭,直接危及到人类的生存与安全。因此,人类不得不付出代价去关注地球的自然环境。也正是在这样的背景和条件下,形成了一门新的边缘学科——环境科学。

2、环境科学

环境科学是 20 世纪后期迅速发展起来的综合性很强的边缘科学。是运用多种学科的理论知识来研究环境、环境问题和环境管理的新兴科学。环境科学研究的目的是保护人类免于各种不利环境的影响;治理和修复已经受到破坏和污染的环境;保护环境免于人类各种活动的干扰和破坏;为保护和提高人类的健康及生活水平而不断地改善环境质量。

环境科学涉及的学科内容十分广泛,从自然科学的角度去划分,主要包括环境地质学、环境生物学、环境物理学、环境化学、环境医学与环境工程学等。

环境地质学是以人——地系统为研究对象,研究该系统在发展、控制、改造和利用的过程中,环境对人类产生的正负影响以及由于人类作用于环境而引起的环境对人类的反作用;研究人——地系统的构成、演变、功能、性质和影响,以及对环境的防治对策、环境的管理保护措施。环境地质学目前比较明确的分支学科有环境地质学、环境地球物理学、环境地球化学、环境海洋学、环境土壤学、环境气象学和环境水力学等。工程与水文环境地质学也是环境地质学的一个新的组成部分。

环境生物学研究的是人为干扰后环境与生物(包括人类自身)的基本演变规律。它包括环境污染后受污染的环境对生物体、生态环境的危害及毒理作用,有害物质在生物体、生态系统间循环迁移和变化的规律,生物体的净化与修复功能,生态系统的稳定性及生态平衡恢复的能力和手段等。

环境物理学是研究物理环境(包括声、波、光、电、磁场、温度及辐射等)与生物特别是人类之间的相互关系、作用和影响,以及消除其影响的途径和方法的科学。

环境化学是根据环境需要,运用化学原理和方法,对污染物质的成分、含量、形态及迁移演化规律等进行检测、分析、调查与评价的科学。

环境医学主要研究环境与人群健康的关系。研究环境污染对人体健康的侵害影响、致病机理、致病条件和防范措施。

环境工程学是运用工程技术和科学方法,进行合理开发利用自然资源、防治环境污染、保护和改善环境质量的科学。

随着人类社会进步和科学技术的不断发展,还会派生和诞生出更多的新的环境学科分支。而各类环境学科分支之间,都是相互渗透并密切相关的。

二、环境地质问题及学科发展状况

1、我国的环境地质问题及研究意义

环境地质学是我国 20 世纪 70 年代开始兴起的一个新学科。由于环境科学研究的广泛性,到目前为止,对环境地质学还没有一个十分统一的看法。比较普遍地认为环境地质学是运用地质学的理论和方法,研究地质环境的特性、功能及演变规律,研究地质环境和人类之间的相互关系和相互作用,解决由于人类开发利用自然资源引起的环境地质问题,探索和研究保护地质环境的途径和对策。

人们已经公认,人类生存环境是一个大系统,自然环境是这个系统中的主要一环。如果把自然环境再分成亚系统,它就是前面所提到的大气圈、生物圈、水圈和岩土圈四个子系统(也有的把人类作为智慧圈对待)。这四个子系统在物质、能量、信息的传输和交换上紧密地保持着相互包容、相互转化、相互影响和相互制约的关系。地质环境是自然环境的组成部分,它主要有水圈和岩土圈构成,并和大气圈与生物圈紧密联系,并构成了人类生存环境的一部分。环境地质问题就发生在由水圈和岩土圈构成的这一地质环境中。

何谓环境地质问题?在自然界中,由于天然地质营力、人类的生活生产活动或两者的共同作用而引起的对人类生存环境产生的不良影响和破坏的地质灾害、现象及事件,称为环境地质问题。按照地质营力的起因不同,可把环境地质问题分成三类,即天然环境地质问题(第一类环境地质问题)、人为环境地质问题(第二类环境地质问题)和复合环境地质问题(第三类环境地质问题)。天然环境地质问题,也叫天然地质灾害,包括地震、火山爆发、泥石流、海啸、洪泛、干旱及沙尘暴等。人为环境地质问题,是由于人类的生产和生活活动引起的,如三废引起的水体污染、滥伐森林造成的水土流失、矿山建设和地下水开采引发的地面沉降和塌陷、引水灌溉造成的沙漠化及盐渍化等。复合环境地质问题,如诱发地震、泥石流、海水内侵、滑坡与崩塌等。目前国内外环境地质问题尚无统一的划分标准。

图 1 给出了环境地质问题类型划分表,以供参考。

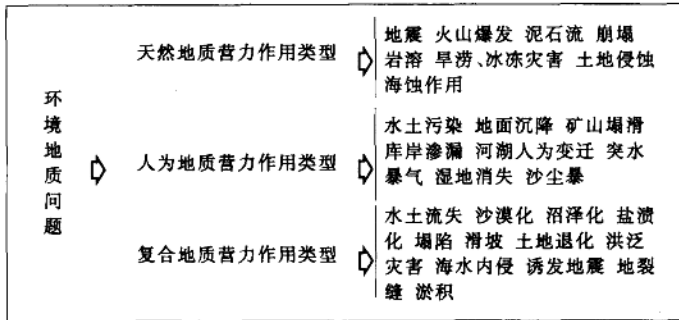


图 1 环境地质问题类型划分

人类社会的发展过程,也是与自然灾害抗争的过程,是认识自然、影响环境、改造、修复和保护环境的过程。环境地质问题的研究,对于人类的生存与安全,改善地质环境的质量,达到人与自然、人与环境和谐相处和推动人类社会不断进步及经济的持续发展,具有深远而重要的意义。

2、我国环境地质科学研究状况和发展趋势。

自 20 世纪 80 年代以来,我国逐渐加强了对环境问题和环境科学的研究。特别对环境地质学的研究,给予了相当大的重视。在水系保护方面,对长江、黄河、松花江等流域进行了流域环境质量现状调查;对一些湖泊和作为水源的河流进行了污染调查评价和控制研究;对一些大中城市和工矿区的区域环境质量进行了调查、分析和评价;对全国的地下水状况进行了深入的调查研究;在农业环境质量方面,对我国大中城市郊区的污水灌溉和农业作物生产区的土壤被农药、化肥污染的状况等进行了调查研究;在海域环境质量方面,对我国沿海的海水污染,特别是石油污染、富营养化及影响进行了研究。与此同时,运用多种学科理论与方法,开展了区域性环境质量研究;环境地质背景值的研究;污染物在区域地质环境中迁移转化和演变规律的研究;地球化学环境与人体健康关系的研究以及地质环境污染效应的研究等。这些调查研究与实践,都十分有效地丰富了环境地质学的内容。推动了该学科的进一步发展。实践表明,随着工农业生产规模的急剧增大,城市化建设速度的加快和人民生活水平的迅速提高,环境问题越来越突出,这个问题在全球具有普遍性。据调查统计,到 20 世纪末期,我国的大江大河和湖泊已普遍受到污染,有的污染十分严重,淮河的各种鱼类几乎濒临灭绝;沿河村民瘟疫发病率和痴傻呆障患者成倍增长;由于地下水超采,我国北方京津唐衡地区的区域降落漏斗面积已超过 10^7 km^2 ,水质不断恶化;森林和草皮面积每年以 2500 km^2 的速度减少和退化;水土流失和荒漠化已经影响到居住地人群的正常生活,最近两年,北京地区的沙尘暴出现次数增加了近十倍。在丝绸之路,新疆地区 50 年代水草茂盛的罗布泊湖,现已成了不毛之地,人称死亡之地。由于大气和水体污染,也使人们的致病率、致畸率、致癌率明显上升。因此,为了防止环境进一步被污染破坏,控制对环境的负面影响,保护和改善地质环境,加强对环境地质科学的研究,是环境地质学的重要任务。即便如此,对环境问题进行了有效的控制,污染所造成的后果,也会产生长期的滞后延续作用。

随着人口增加、城市化建设和现代化工农业生产的发展,在环境科学的研究中,为进一步解决各种环境地质问题,环境地质学应该在今后的实践中不断地得到充实、完善和发展。环境地质学研究将会在以下几个方面进一步引起重视。

①全面性的区域环境地质规划研究;②全球性的地质环境污染影响研究;③水土资源环境管理与保护研究;④重大地质灾害及普遍性人为环境地质问题防治研究;⑤环境地质学科与其它学科的交叉联系与综合研究。

三、工程与水文环境地质学的研究内容与方法

1、研究内容

工程与水文环境地质学是研究由于人类工程建设、生产和生活活动所引起的各种环境地质问题的科学。它是环境地质学的重要组成部分,也是一个新型的学科分支。工程与水文环境地质学的研究内容包括以下方面:

(1)水利枢纽工程环境地质问题。研究由于修坝建库而引起的水库诱发地震、上下游河道演变、库区淹没和沼泽化、盐渍化、库岸坍塌、边坡失稳等一系列由于水利工程建设而引起的环境地质问题。

(2)水资源开发利用环境地质问题。研究由于水资源的开发,特别是地下水资源的超强开采而引起的水体、水质、水环境的恶化,以及地面沉降、海水内侵、生态环境失衡等一系列环境水文地质问题。

(3)矿产资源开发及工程建设环境地质问题。研究在各种矿产资源开采、挖掘和交通工程建设中,由于隧道挖掘、基础开挖、平整土地、搬运岩土及边坡治理等引起的地面塌陷、水土流失、边坡稳定、植被破坏等工程环境地质问题和产生的机理、规律及防治措施。

(4)石油开发对土壤、地下水的污染和生态环境的影响。石油在分馏之后,由于其溶剂的毒性很强,并且随着全球石油产量的剧增,石油对环境造成的污染和由此引起的经济损失越来越大。工程与水文环境地质学通过对石油污染的研究,解决其污染特性、污染途径、规律、影响和治理的方法。

(5)城市化建设环境地质问题。研究由于城市化建设而引起的城市及相关地区的环境污染和破坏,如地面沉降、地裂缝、森林和农田减少、城市垃圾污染、水土流失、城市地表水和地下水恶化,研究污染和破坏的机理、原因及防治对策等。

(6)工业生产污染环境地质问题。工厂在生产过程中,往往要排放大量的气态、液态和固体废物,这些废物虽经一定的处理,但大部分仍然被排放到地面或被掩埋在地下,由于这些废物的毒性作用而污染土壤、地表水和地下水,破坏生态环境和危害人群健康。

(7)在现代农业生产中,由于化肥、农药及除草剂的大量使用,土壤、地表水和地下水也受到严重污染,土壤生物体和水生生物被大量杀死,甚至农作物被严重污染,生态环境遭到破坏。工程与水文地质学就是研究这类污染破坏的规律、特征及影响等,找到最佳的处理措施,把对地质环境的污染与破坏影响降低到最低限度,保护生态环境,保护人类的身体健康与安全。

(8)研究其他与人类生产生活活动有直接或间接关系的环境地质问题,例如由于不适

当的开发与引用某些水源而引起的地方病和异常生理现象,包括矮小病、骷髅病、早熟病、克山病、氟水病、甲亢病、大骨节病、心血管病与癌症等。研究与地质环境异常有直接关系的各种问题。

(9)研究对工程与水文环境地质问题的调查评价方法等。

2、研究方法

工程与水文环境地质学是一门综合性很强的学科。因此,它的研究方法也是综合性的。除应用地质学中工程地质及水文地质的理论原理和方法之外,还涉及到其他领域,特别是生物学知识,如基础医学、遗传病学、生物物理学、生物化学、生态学、农学和林学等。对工程与水文环境地质问题的评价方法同样也是综合性的,如综合影响评价、风险分析与综合质量评价等。

工程与水文环境地质学的综合研究步骤通常包括现场调查分析、现场监控与测试、室内实验与模拟、影响的预测和风险评价以及信息反馈等过程。综合研究方法也是多种多样的,例如数理统计方法中的方差分析、相关分析、多元分析、回归分析、模糊聚类分析、灰色系统分析、趋势面分析、假设分析与因子分析等。具体的研究方法详见第七章、第八章的内容。

第一章 水利枢纽工程环境地质问题

新中国成立 50 年来, 我国的水利事业取得了举世瞩目的巨大成就。到目前为止, 全国共建立各种类型的水库 10 万多个, 大中型水利枢纽 600 多个, 年水电装机容量接近 5000 万千瓦, 年发电量达到 1800 亿度, 建立灌区 5100 多个, 灌溉面积已达到 7.4 亿亩。这一系列水利工程的实施, 为我国现代化建设和社会发展发挥了不可磨灭的作用。但是人们清楚地看到, 在长期水利建设中, 由于认识、管理和科学技术上存在的问题, 引发出一系列不容忽视的环境问题, 例如由于上游区森林的过度砍伐而引发的 1998 年长江非超常流量洪水灾害; 由于过度引水而造成的黄河中下游的长期断流和下游三角洲湿地的消失与生态破坏; 由于超采地下水而引起的区域降落漏斗和地面沉降漏斗; 罗布泊湖的干涸和太湖的严重淤塞; 我国大小河流及城市地下水的严重污染等, 都说明了我国环境地质问题的严重性。据有关资料介绍, 最近两年, 美国的专家学者从经济效益、社会效益和环境效益上, 对他们国家近百年来建立的大坝运行情况, 重新进行了调查、统计分析和评价。结果表明, 大部分大坝、水库在运行多年之后, 其经济和环境效益都是亏本的。最近的一两年来, 美国正试着拆移某些大坝, 这一动向不能不引起国人的关注。伴随着我国经济的高速发展、水资源的短缺和人口压力的增加, 更要加强环境地质学的研究, 保护地质环境, 防止盲目开发资源和建设大型工程, 防止环境地质问题的产生, 全力修复被破坏的地质环境, 以保证资源与环境的协调发展, 保证社会、经济 and 环境的可持续发展。

1.1 概 述

自 1949 年以来, 我国的水利水电事业迅速发展, 已经在不同的河流域成功地建立起坝高 15m 以上的大中小型水利水电工程一万多座, 其中大中型坝 600 多座, 如果包括一些更小的坝与库在内, 我国的水利枢纽工程建筑物已达到 80 万座左右。这些水利工程充分发挥了蓄水、拦洪、灌溉、发电、养殖及航运等作用, 为我国的经济建设产生了巨大的效益, 也带来了一系列环境问题。

水利工程与自然环境之间存在着十分复杂的关系, 对自然环境产生明显而深远的影响。这些影响包括局部气候影响、生态环境影响、水体与水质的影响、人群健康影响、文化遗产及地质遗迹影响、土壤环境影响以及地质环境影响等。影响也包括正负两个方面, 如果解决不好两者之间的关系, 就会产生一系列的环境问题。例如国际上著名的埃及阿斯旺水利枢纽工程, 在大坝建成后, 陆续出现了灌区血吸虫病蔓延现象, 下游以冲淤为依托的大范围农田失去了淤泥肥料, 坝上游库区水蒸发严重, 年蒸发损失量 $1 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 相当于来水量的 $1/9 \sim 1/8$ 。由于库区灌水量的增加, 建坝前每年流入地中海的淡水, 已经由 $3.20 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 变成了零流入, 造成海水严重倒灌, 尼罗河海口海岸线遭侵蚀, 沙丁鱼业严重减产等一系列问题。事实上, 在国内外由于水利工程建设选择或处

理不当而造成的破坏和环境影响屡见不鲜。据统计,美国的水工建筑物破坏与环境影响事故到60年代末达到了两千余次。法国的马儿帕塞坝、美国的奥斯汀坝、西班牙的托利维加坝等,均由于严重的质量和破坏事故,对环境造成严重损害,甚至对人民的生命财产造成巨大损失。

在我国,目前有小(2)型以上水库8.4万多座,其数量居世界首位,总库容约5000亿立方米,相当于全国河流径流量的1/6。对于我国这样一个水资源严重紧缺的国家来说,水库为我国经济社会发展提供了重要的水源保障,同时水库作为江河防洪体系中非常积极有效的骨干工程,在抵抗洪涝灾害中发挥着重要的拦洪、蓄洪和调洪作用。

然而令人忧虑的是,这些水库中有1/3以上存在事故隐患,其中大型病险水库150多座,中型水库约1100多座,小型水库近3万座。这一座座病险水库就像一颗颗定时炸弹,严重威胁着下游人民群众生命财产的安全,一旦跨坝失事,将给下游造成严重的灾害,有的甚至是灭顶之灾。

几十年来,我们已经有过这样沉痛的教训。1963年8月,海河流域特大洪水中,河北东川口水库漫坝失事,900余人丧生。1975年8月,河南板桥、石漫滩两座大型水库,因防洪标准低,漫坝失事,造成2万余人死亡。青海省小(1)型的沟后水库,1993年8月大量漏水溃坝,下游300余人被夺去生命。据统计,50年来我国共有3482座病险水库跨坝,其中1980年以来为2976座,特别是十年动乱期间,因放松了水库的安全管理,水库跨坝事故频繁发生,平均每年达200多座,1973年高达500多座。进入80年代后,由于加强了水库的安全管理,分批加固了一批重要的病险水库,跨坝事故大为减少,并且绝大部分为库容小于100立方米的小(2)型水库,但每年平均也有20多座出现问题。

造成这种灾害局面的原因是多方面的,主要有以下几点:

(一)先天不足。我国大型水库的3/4、中型水库的2/3、小型水库的9/10建于1955年至1977年,也就是说大部分水库修建于“大跃进”和“文革”期间。当时科技水平低,经济实力弱,水文站点少,设计规范不完善,再加上机械化程度低,质量本身不过硬。同时许多水库在建设由于种种原因,本身就是“半拉子”工程。

(二)后天失调。我国许多水库多是以防洪和农业灌溉为主的水库,没有更新改造经费来源,甚至没有维修经费,得不到及时维护,长期带病运行,致使病险越来越重。

此外还有人为因素。多年来,人们普遍存在重建设、轻管理的思想,管理手段落后,特别是一些中小型水库根本就没有观测设施及手段,水库的病险情不能及时掌握,更不能得到及时处理,最终形成重大隐患。

当然,不安全隐患给人们敲响了警钟,也引起了各方面的重视。据统计,自1976年至1985年全国完成以提高防洪标准为目的的大型水库除险加固工程65项。1986年,原水利电力部确定了“全国43座重点病险水库”,并对除险加固给予了适当补助。为了加快全国水库的除险加固速度,水利部于1992年又确定了“全国第二批38座重点病险水库”,并采取了第一批的资金补助政策。目前第一批已基本完成了加固任务,第二批也正在加紧进行处理。但从全国总体来看,目前病险水库除险加固的进度缓慢。究其原因主要有以下几个方面:

一是认识不足,重视不够。自80年代以来,由于加强了水库的安全管理,分批加

固了一批重点病险水库，跨坝事故大为减少，特别是这些年发生的跨坝事件均为小型水库，不足以引起人们重视。同时，一些地区热衷于新建工程，而对病险水库除险加固重视不够。

二是投资巨大、资金短缺。病险水库除险加固不仅技术要求高，而且投资强度大。但对于以防洪、灌溉为主的水库来说，因其自身效益差，缺少稳定的更新改造资金渠道，搞水库除险加固感到力不从心。

三是老病未治、又添新病。我国的水库大多已运行了 30 多年，投入不足，使许多工程小的隐患得不到及时处理，每遇到洪水又造成新的隐患，往往是“老病未治，又添新病”。有的由于加固资金的短缺，加固设计时过于“求省”，局限于“头疼医头，脚疼医脚”，造成除险不彻底，结果加固不久又旧险复发或新险发生。

水利建设中的环境问题已经给人类带来了各种不利影响，甚至产生了严重后果。因此重视水利工程地质环境问题的治理与保护不容忽视。

水利枢纽工程引起的环境问题是多方面的，本章所要研究的主要是由此引起的环境地质问题。内容主要包括：坝址区工程与水文环境地质问题，库岸区工程与水文环境地质问题，上下游河道环境地质问题以及库区诱发地震、盐渍化、沼泽化与病虫害灾等。

1.2 坝址区工程环境地质问题

1.2.1 引发坝址区环境地质问题的主要因素

大坝建成之后，坝体和坝基之间会产生复杂的相互关系，形成若干引起环境地质问题的因素与条件，主要影响因素有以下几方面：

1. 斜荷载作用

修建大坝的目的主要是为了拦蓄水流，形成具有一定水头压力的水库。大坝在建成之后，被拦蓄的地表水体就会以巨大推力作用与坝体。为了保持坝体稳定，大坝必须具有足够抗力，以便在基础地面产生足够大的摩擦力来均衡水平推力。在这样的条件之下，坝基可能会在长期斜荷载作用下，通过变形和滑动，破坏大坝的稳定。而且可能或经常存在的库水位骤变、洪水和风浪的冲击以及地震作用，对坝基、坝体产生更具危险性和破坏性的作用。

2. 机械渗透作用

在大坝建设中，为了防止坝基渗漏，往往进行基础处理，例如帷幕灌浆、固结处理等。尽管如此，坝基毕竟存在空隙、裂隙或孔洞，处理不好，渗漏会更强烈，甚至形成干库。在 1958 年大跃进时期修建的十三岭水库，由于质量不合格，就是一个典型的水库渗漏例子。

3. 化学侵蚀作用

水是一种腐蚀剂，在渗流过程中，水体会和岩石产生化学反应，对岩石进行溶蚀，