

绪 论

一、环境工程地质问题的产生

世界性的环境问题，如大气污染、温室效应、水污染、热污染、放射性污染、固体废物、噪声污染、石油污染、资源枯竭、土地减少、水土流失、农药滥用、稀有野生动物植物灭绝等，一直困扰着地球的生态环境。首先，人类是首当其冲的受害者。环境污染仍然在威胁人类的健康与安全，例如空气污染引起呼吸道疾病，放射性污染导致癌症，噪声破坏听力等情况依然存在。长此以往，若干年后的地球，也许人类将无法居住。其次，与人类直接相关的自然环境的破坏还在加重。例如饮用水源污染使人们饮用水质量下降，农药、化肥的滥用造成农产品污染，自然景观的破坏减少人们对美的享受，宁静的乡村扩展为喧嚣的城镇，人们的居住环境变得拥挤，等等。

环境问题，古已有之。西亚的美索不达米亚、我国的黄河流域，都曾是人类文明的发祥地。后来由于大规模毁林垦荒，又不注意培育林木，结果造成严重的水土流失，以致良田美景逐渐沦为贫壤瘠土。

环境保护的任务就是要防止或减轻人类活动对环境的污染和破坏，保护地球环境和生态平衡，改善人类生存环境，促进人类社会健康发展。其内容大致有两个方面：一是保护自然环境，合理利用资源；二是改善人类生存条件，提高环境质量。

世界进入了可持续发展的时代。从 20 世纪 50 年代开始，随着工业经济的快速发展，一系列污染事件发生，形成了第一轮环境问题。80 年代，新一轮经济的快速发展使环境与发展的矛盾再次突出。随着人类工程和经济活动的规模和范围日益扩大从而引起了具有代表性的问题——环境工程地质问题，我们必须解决工程活动对地质环境的作用所产生的新问题，这就形成现代工程地质学的新分支——环境工程地质。

国际交流与协作为环境工程地质的创立作了组织准备，对加速环境工程地质问题的研究起了重要推动作用。1970 年，国际地球科学联合会（IUGS）正式成立了“地球科学与人类”专业委员会；1972 年，第二十四届国际地质大会将“城市与环境地质”列为第一专题；1979 年，国际工程地质学会（IAEG）在波兰召开首次“人类工程活动对地质环境变化的影响”专题讨论会；1980 年，在巴黎第二十六届国际地质大会上，国际工程地质协会一致通过了《国际工程地质协会关于参与解决环境问题的宣言》。《宣言》倡议所有从事工程地质和相邻学科的人员，在设计和修建任何工程时，不仅要注意工程设施的可能性及经济效益，而且必须考虑保护和合理利用环境问题；要求查明工程地质条件，并在空间、时间上进行定量的预测评价；要求开展以了解某些地区地质环境为目的的区域地质调查，编制世界性的分类环境工程地质图。环境工程地质问题的研究，在经过多次各种类型的与人类活动有关的地质灾害的教训、长期的思想孕育和组织准备后，已开始在全世界普遍开展。《宣言》已成为现代工程地质学向环境工程地质学进军的时代标志；同时，也肯定了已有的环境工程地质问题。

80年代以后,环境地质尤其是环境工程地质的研究成果愈来愈多,质量也愈来愈高。1980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了首届环境工程地质问题学术研讨会,这显示着我国的工程地质学领域中的一个新分支学科——环境工程地质开始崛起。1989年11月在西安召开了第二次会议,在这次会议上对环境工程地质的概念、涵义、目的、特点和它的研究地位等问题都进行了比较深入的探讨,对环境工程地质的理论研究有重要的指导意义。1992年12月,我国召开了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质研究受到了极大重视。1994年9月,在葡萄牙里斯本举行了第七届环境工程地质大会,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,在兰州又召开了第三次全国环境工程地质会议,在会上对环境工程地质的学科特点问题,各方面的专家与学者都发表了很多学术见解,在某些方面取得了共识,同时也存在着不同的学术观点,这些共识和不同的学术观点对工程地质的学科发展将产生深远影响。1999年8月在哈尔滨举行了第四届全国环境工程地质会议,共同探讨了环境工程地质科学的发展,明确了21世纪人口、环境与发展的战略。

二、环境工程地质的基本概念和学科特点

我国的地质词典(1986年)对环境工程地质的定义是:它是工程地质学的一个分支,是研究由于人类工程—经济活动所引起的(或诱发的)区域性和有害的工程地质作用的科学。这些有害的地质作用是诱发地震、滑坡、泥石流等。环境工程地质研究这些作用产生的条件和机制,提出减弱或消除它的工程措施,为制定利用、保护和改造地质环境方案提出依据。刘国昌(1982年)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,其中包括第一环境与第二环境。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,具有显著区域性规律。所谓第二环境,即是人类的工程—经济活动的影响,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。胡海涛(1984年)曾经提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基础上,主要研究由于人类工程—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,以及以人类活动为主导的动力因素来区别于传统工程地质学。”我们认为:环境工程地质是研究解决与人类工程—经济活动有关的合理开发、利用、改造和保护工程地质环境的一门学科。

环境工程地质的产生,是经济活动不断加剧的必然产物。换句话说,在现代科学技术条件下,人类的工程创造给人类带来了极大利益,同时也给人类环境带来极大影响,出现了各种不良的工程地质现象,直接或间接地对人类环境产生反作用。为了解决这个问题,开展了环境工程地质研究。

环境工程地质的主要研究目标,是为了合理地进行工程开发,在满足人类发展需要的同时,保护地质环境,使人类工程活动与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。

环境工程地质的主要研究内容，是在查明工程地质条件和自然地质作用的基础上，探索人类工程与地质环境相互作用，从定性分析到定量评价，由静态认识到动态观测，着重于研究各种工程环境系统的演化和它的发展趋势，提出合理利用、经济的防治措施，为制定人类工程—经济活动发展规划提供科学依据。因此，它是一门应用型科学，是工程地质学与环境科学之间的边缘学科，也是现代工程地质学的一门分支学科。

应当说明的是，传统工程地质学与环境工程地质是不能截然分开的。环境工程地质也是研究工程的地质环境条件，以及它对人类工程—经济活动的制约和作用。但是，这是当作基础工作进行的，且侧重于研究地质环境的组成、各部分的相互关系、现状以及发展变化趋势，进而讨论对人类工程—经济活动的适宜性和适应性，提出环境地质综合评价，为保护和合理利用工程地质环境提供科学依据。

环境工程地质的学科特点归纳如下：

（一）环境工程地质的广泛性

环境科学所研究的环境问题是以人为主体而言的外部世界，即人类环境问题。它的广泛性起因于人类工程—经济活动的广泛性。它具有非常广泛的环境概念，如图 0-1 所示。

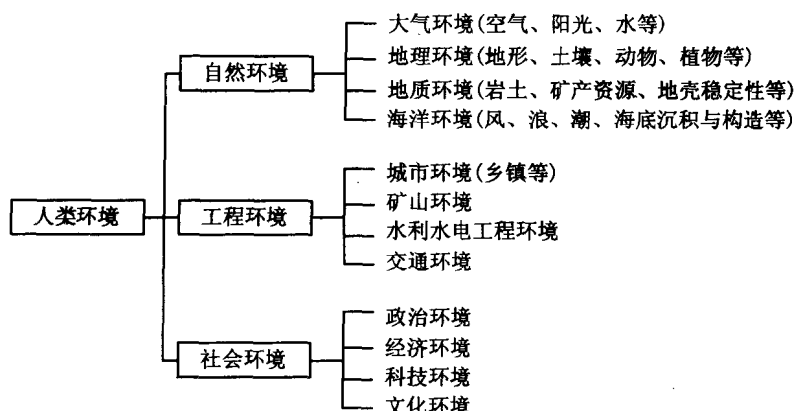


图 0-1 人类环境的类型

由上图可见，人类环境是由自然环境、工程环境和社会环境等三方面构成的。三者之间是相互联系、相互影响、相互作用的。但其中起主导作用的是人类工程活动，由此而产生的环境问题，毫不夸大地说，是环境科学中最主要的环境问题，也是环境工程地质的最主要的研究内容和研究任务。由此可以说明环境工程地质在环境学中占有重要的地位。这种地位将会越来越重要，越来越多的学者关注和从事专门工作。由于人类工程规模越来越大，对环境的影响也越来越明显，对解决环境工程问题的迫切感也越来越强。

（二）环境工程地质的多学科性

工程环境问题涉及面很广，如大型水库建成后，对小气候的改变，涉及到气象学等问题；水库浸没对土壤的改变，涉及到水文地质学和土壤学等问题；矿山开发、交通建设、破坏植被、占用农田、造成水土流失，涉及水文学和生态学问题；城市建设中出现的地裂缝、地表沉陷、滑坡等，涉及到工程地质学等问题。所以，环境工程地质的理论和方法是多元化的、多学科的。但是，其中最主要的理论基础是工程地质学与生态学。认识环境工程地质问题发生和发展过程，必须应用工程地质学的成因理论和工程岩土体稳定性理论。

由于工程活动所造成的植被覆盖率减少、水土流失等危害生态环境的现象，并预测它的发展趋势和进行治理，必须运用生态学的理论和方法，才能得到很好的解决。

（三）环境工程地质问题的复杂性

对环境工程地质问题的研究，必须从研究环境要素开始。环境要素是多序列的，每个序列中又有多种类型。在工程活动中，各种要素之间的相互关系和相互作用又在不断地变化。由此而产生的环境工程地质问题，由局部逐渐向区域扩展，对这种扩展的过程和未来发展趋势进行分析，需要收集大量的信息，并要快速地处理。解决这种复杂的环境演化问题，只能运用现代系统工程的理论与方法，才能获得满意的效果。

（四）环境工程地质成果的社会性

环境工程地质的研究成果，具有广泛的应用价值，这一点是毫无疑问的。但又是一种很难应用的成果，不像数、理、化方面的成果，应用十分方便。谁都需要一个好的环境，谁都知道环境的重要性，但就个人和某一个单位讲，谁都无能为力改变环境的现状。因为环境问题是系统工程问题。由此产生了这样一个问题：环境工程地质的研究成果，除能帮助人们提高环境意识外，如何能得到实施？解决这个问题，必须得到法规的承认和支持。正是由于这个道理，我国政府为保护环境制定许多法规，如环境保护法、森林法、资源法、水法、大气污染防治法、海洋环境保护法等。这是解决环境问题极为重要的手段。因此，环境工程地质研究成果的重要性，具有法律的性质，为制定环境保护法规提供科学依据。

认清以上四个方面的特点，对环境工程地质学科的发展有重要的指导意义。根据这些特点，创造环境工程地质学科的特色，建立有特色的一套学科理论和方法，学科发展才有生命力。

三、环境工程地质研究的主要内容

环境工程地质研究的主要内容一般按以下两个体系来划分。

（1）按自然学科形态划分，理性的环境工程地质研究内容为：

诱发地震——研究由水库、注液、采矿及核试验等诱发地震现象的规律及预防，进而有助于地震灾害预防。

人类活动与地表岩土工程边坡——研究因水库蓄水、各类工程开挖及矿山采掘等引起的大范围破坏地表及工程设施的边坡变形、失稳等问题。

地面沉降——研究由过量抽取地下液态矿体或开采固态矿体而引起的地面沉降、地裂缝及地面陷落等。

人工堆积物引起的地表环境恶化——如城市生活垃圾与人工填土、废矿矸石堆放及核废物的工程地质处理。

（2）按社会部门形态，环境工程地质可分为：

城镇环境工程地质——主要研究城镇地区的环境工程地质问题。因为城镇是人类工程——经济活动最集中的地方，故有人认为城镇地质是环境地质研究的中心问题。

矿山环境工程地质——主要研究采矿（露天和地下开采）所引起的山体崩滑、地面沉陷和废矿矸石堆放引起的滑坡、泥石流等，此外尚涉及矿坑复填与环境美化问题。

水库环境工程地质——专门研究因水库蓄水而诱发地震、边坡失稳及水土流失等。

交通线路环境工程地质——专门研究修筑交通路线对工程地质环境的危害。

文物性地质景观地区环境工程地质——研究旅游区自然景观及石质文物遗迹的保护以及自然旅游区内的工程建设合理性。

四、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，为进一步改善人类生存环境做出贡献，今后的一段时期内，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，同时，加强微观研究和宏观研究的结合。

（一）加强环境工程地质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示范研究。

（3）加速各类问题的数据库及其信息系统的建设。

（二）加强区域性环境工程地质研究

（1）针对国家制定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。

（三）注重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，要在地质灾害规律研究的基础上，把注意力放在预测、预报、预警和减灾对策及防治措施的研究上，并付诸实践。

（四）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，所以是一整套系列图件。

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。

五、环境工程地质的发展方

环境工程地质问题规模日大，影响范围越来越广泛，随着世界新的开发计划实施，

“全球将变成一个大工地”，预期对地质环境影响也就更加严重。例如大坝坝高已超过 300 m 边坡高度已近 1 000 m，隧洞埋深已达 2~2.5 km，矿井采深已超过 1 200 m，石油采深已超过 3 000 m；又如三峡水利枢纽工程，除巨大的坝区工程外，在水库区域内，还将迁建 10 多个县市城市以及 150 个集镇，而且大多分布在物理地质现象发育、地势陡峭的库岸附近。平脊填沟，架桥开路，工程浩大，同时还要在山区重建和改造交通网络，垦殖、移民，将在较短时期内强烈改变地球环境。另外，由于社会发展、经济建设整体的需要、国防的需要，已经和将要在更复杂的地质环境条件下进行建设活动，环境工程问题也将趋于复杂化。总之工程—经济活动与地质环境相互依赖、相互作用、相互影响的关系，越来越明显、越来越深刻。

在世界范围内，举世瞩目的我国三峡工程、非洲中央人工湖、喜马拉雅山水力发电计划、苏联与美国之间的白令海峡大坝以及加拿大中央原野开发等工程（见图 0-2）其规模和影响之大，均属空前。这些世界级的巨大工程将会涉及和诱发出更广泛、规模更大、风险也更高的环境工程地质问题，因此环境工程地质理论与应用研究的发展都是刻不容缓的。

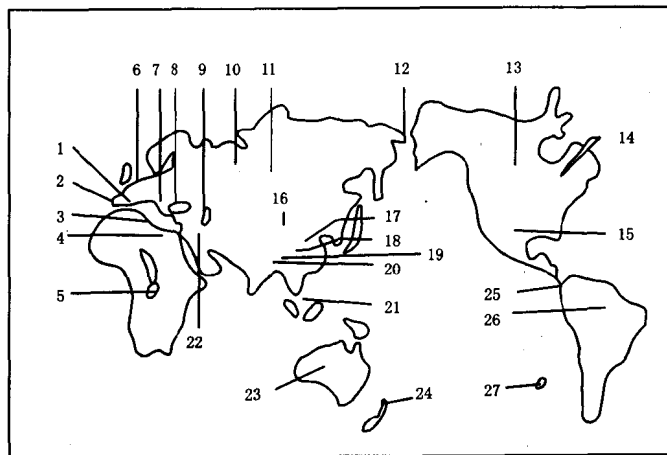


图 0-2 世界主要巨大工程计划示意图

- 1—多米尔运河；2—横穿地中海海底管道；3—直布罗陀海峡隧道；4—卡特腊盆地开发；5—非洲中央人工湖；
- 6—多佛尔海峡隧道；7—捷克-南斯拉夫铁路隧道；8—墨西哥海峡大桥；9—里海水坝；10—苏联河流逆流计划；
- 11—西伯利亚运河；12—白令海峡水坝；13—加拿大中央原野开发；14—加拿大运河；15—布腊索斯河拦河工程；
- 16—欧亚大陆公路；17—南北大运河；18—三峡大坝；19—中国南水北调西线工程；20—喜马拉雅山水力发电计划；
- 21—克拉地峡运河；22—里海—黑海运河；23—澳大利亚运河；24—库克海峡隧道；25—第二条巴拿马运河；
- 26—南美水利资源开发；27—南极冰山拖航

（原载日）《科学朝日》1986 No.3）

复习思考题

- 0-1 什么是环境工程地质？其学科特点是什么？
- 0-2 环境工程地质与相邻学科之间的关系如何？

- 0-3 环境工程地质研究的主要内容是什么？
- 0-4 我国现阶段环境工程地质的研究重点是什么？
- 0-5 如何理解“地球将变成一个大工地”这句话的含义？

第一章 环境工程地质问题

第一节 自然环境与自然灾害

一、自然环境

环境 (Environment) 是指人类周围自然和社会的全部条件和情况, 也包括影响自然界性质的条件和物质。

自然环境 (Element) 是对人类社会而言, 与人类社会的发展有关, 它包含着人类生存所必需的生产和生活资料。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的发展速度和质量。

自然环境是由岩石圈 (包括土圈)、水圈、大气圈和生物圈四个部分组成, 这四个部分相互依赖, 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, 并且可以影响到未来的自然环境, 这就是自然环境的可预测性。

二、自然灾害

所谓自然灾害 (Nature Disaster) 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。自然灾害属于恶性自然环境系统。

自然环境与自然灾害的关系如表 1-1 所示。

表 1-1 自然环境与自然灾害关系

自然环境	自然灾害系列
岩石圈	地震、火山、滑坡、泥石流、崩塌等
土圈	沙漠化、土滑坡、地裂缝、水土流失、地面沉降等
水圈	洪水、暴雨、雪灾、冻灾、海啸、海水入侵等
大气圈	飓风、沙暴、酷热、严寒、干旱等
生物圈	虫灾、火灾、植物退化等

第二节 地质灾害

一、地质灾害概述

我国是一个幅员辽阔、地质和地理条件复杂、气候条件各地区变化较大的国家, 加之工农业、城市、交通、水利的迅速发展, 每年都会发生一些不同类型的自然灾害, 其中地

质灾害在自然灾害中占有很大的比例。

地质灾害 (Geology Calamity) 是大自然支配人类的最显著的因素, 在地球内部动力和岩石圈、大气圈、水圈和生物圈的相互作用和影响下, 生态环境和人类生命、物质财富受到损失的现象和事件。它包含着两种动力地质作用, 一是内动力, 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面强大的地质动力, 对大气圈、水圈和生物圈带来直接和间接的影响。

二、地质灾害的分类

地质灾害的影响因素和过程是十分复杂的, 其类型划分的格式一般为: 类 亚类 灾害, 见图 1-1。由图可知, 地质灾害类型可分为 3 种, 亚类可分为 12 种, 灾害可分为 34 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。我国的地质灾害的分布存在以下几方面的规律:

(一) 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的挟胁, 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。据统计, 我国 30 多个省市中, 20 世纪以来有 21 个发生过 VI 级或 VII 级以上的地震。全国有 312 万 km^2 土地面积和 136 个城市属于地震区。

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。

(二) 地质灾害受纬度和气候条件的控制

中国大陆自南向北气候分布依次为热带、亚热带、温带、亚寒带, 这一气候模式显然与纬度分布有关。所以引起的地质灾害南北方有明显的差异, 南方雨量充沛, 以喀斯特陷落、岩土体变形、山洪、滑坡、水灾为主; 北方气候干旱, 土地沙漠化、盐碱化严重; 到东北大兴安岭地区, 纬度高, 气候寒冷, 以冻融灾害为主。

(三) 地形地貌对地质灾害的影响

我国地势自西向东由高变低, 大体可分为三个阶梯。第 I 级为青藏高原, 海拔 4 000 m 以上, 年平均气温在 $-0.8 \sim 6.5$ 。温度变化以冻害、雪崩为主。依次向东为 II 级阶梯, 海拔在 1 000~2 000 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 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, 工农业发展快, 交通便利, 形成了以人类活动、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。

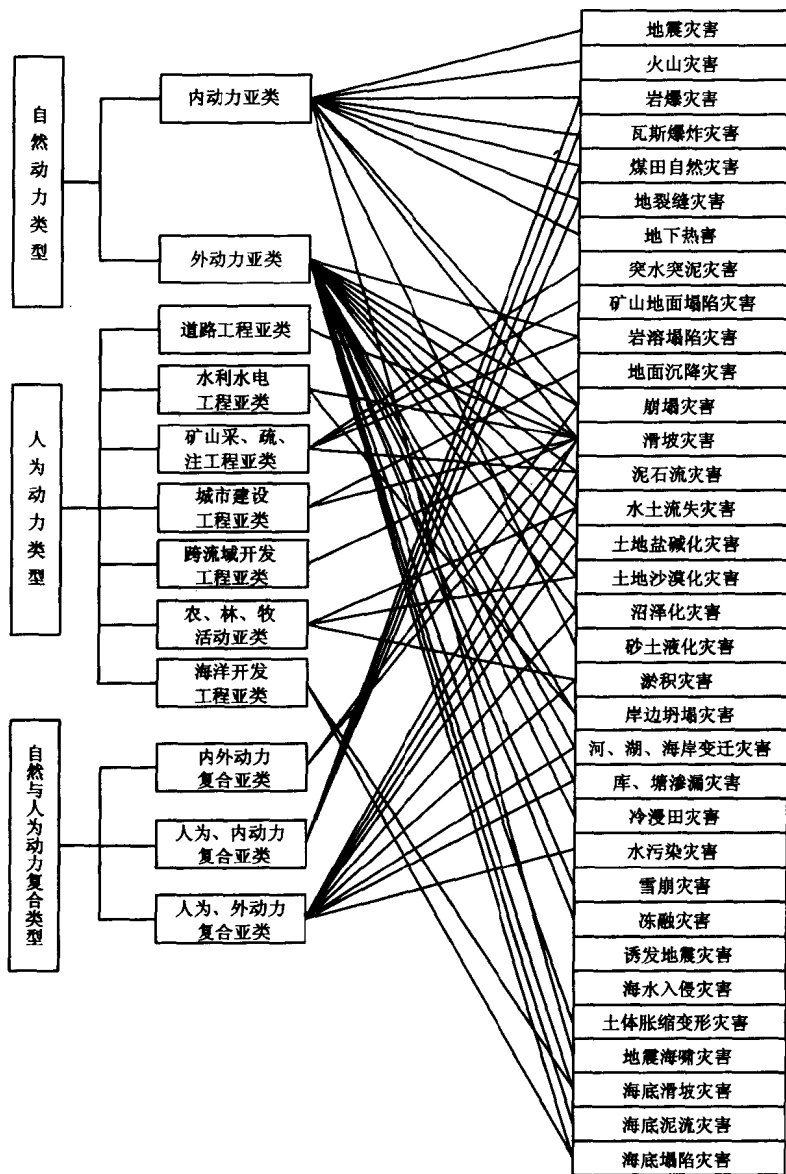


图 1-1 地质灾害成因类型体系框图

第三节 环境地质问题

一、环境地质学的定义

环境地质学是近 20 a 来兴起的一门新兴科学，它是环境科学中的一个重要组成部分，是地质学科的一个分支，应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。

二、人类活动与环境地质学

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。就现阶段而言，人们的经济活动主要可引起以下几方面的地质作用：

（一）人为的剥蚀地质作用

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。

（二）人类的搬运地质作用

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、开垦荒地和坡地等都会引起人类搬运地质作用。据估计，由于人类地质活动，每年搬运的物质达 1 万 km³，超过全球水流的搬运作用。

（三）人类的堆积地质作用

人类在地球上许多地方的堆积已达到相当大的规模，如布拉格市有一层厚 6 m 的人工堆积物。

（四）人为塑造地形作用

人为塑造地形作用和经济建设有关，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、天堑、人工岛等，其速率甚至比天然外动力地质作用更强大。

（五）人类活动所诱发的地质作用

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、水库和深井注水引起的诱发地震等。

上述举例的一些地质作用，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发生、发展对改善地质环境是十分有益的。

三、环境地质区划

我国是一个地质灾害多发的国家，如地震、地面沉降、水土流失等活动在许多地方每年都有发生。这些灾害在当前要达到控制的地步是很困难的，但采取措施，加以预防和预报，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。所谓环境地质区划是按区域的地质环境结构特征和功能有利、不利因素展开经济活动，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。所以，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和原生地球化学背景（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）

环境地质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，以划分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的承受能力。
- (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、范围和程度作出评价并提出防治和治理对策。
- (4) 提出规划的利用方向、开发利用和保护措施。

第四节 工程与地质环境的可持续协调发展

本章第一节中已经讨论了自然环境和自然灾害，以及人类活动和诱发灾害两个侧面，但这两种过程不是孤立的，它们是相互联系和相互作用的，并可以协调发展。

在工程地质学发展的早期，工程活动的地质评价是其自然地质特性和自然灾害为基础的。即使这样，许多工程在规划和选址时缺乏对自然环境的足够认识，对自然灾害的估计不足而造成重大失误。所以，传统工程地质学非常尖锐地指出它的必要性和重要性。随着测试、勘探技术的发展，尤其是计算机技术的发展，定量的工程地质和岩土工程评价能力有大幅度的提高，这毫无疑问是保证工程建设安全而经济的重要保证。但是，人们在认识上又会产生一种倾向，在工程评价中忽视对较大范围的自然环境和自然灾害的认识和研究的重要意义。环境工程地质学应进一步强调这一点。

随着环境科学的发展，人们注意了人和自然的关系，认识到人类和环境的相互作用关系，反映在工程地质学界就是环境工程地质学的提出和兴起，或者是关于工程建设和地质环境相互作用的提出和探讨。在这种思路下，工程地质评价和对工程地质问题的预测不仅要建立在对自然地质特征和自然灾害的评价基础上，而且要进一步依据人类工程建设活动对自然环境的影响，及环境改变对人类工程建设的反馈影响过程，即相互作用过程来作评价和预测。因此，工程地质学既要研究自然地质环境，更要研究受人类工程活动影响后的地质环境特征。

在工程地质力学提出并开始发展的时候就注意到一点，即在倡导把力学手段引进工程地质，解决工程地质问题时，不可忽略研究的对象是自然历史形成的地质体，不能只看到岩石，而要重视它的内在结构和特性。不久以后就提出工程建筑物和地质基础的相互作用。20世纪80年代初就在这个命题上开展了一系列工作，尤其是水库区和地质环境的相互作用及城市建设和地质环境的相互作用，认识到这些重大的工程建设中人类活动对自然环境的巨大影响，以及地质环境在人类社会短暂时期内产生显著变化的可能性。由于次生环境的演化导致诱发的或称为引发的灾害。这种对工程建设和地区的反馈影响也是很自然的。因此，提出原生环境和次生环境及原生约束和次生约束的概念。约束是环境对工程建设的约束，在工程的评价、规划和设计中必须考虑这种约束，解除和摆脱约束，才能使工程建设得到安全和经济效益。

在考虑工程建设的环境工程地质问题时，一方面不能局限于工程场址的直接工程地质条件，而要考虑更大范围的地质环境和本工程的协调；另一方面要从本工程在建设和运

行期间可能导致地质环境的次生演化出发，根据变化后的地质环境特性，考虑本工程和本区工程建设与之是否协调。

为了进行环境工程地质评价必须追踪工程建设和地质环境的相互作用过程，这种过程可能是阶段的，反复协调，而且各阶段的作用机制还可能有所不同，因而这种预测是相当复杂和困难的。有经验的工程地质学家能够注意到这种相互作用的发展趋势和过程，才能作出正确的评价，提出可靠的有效对策。

各类工程建筑物和地质环境的相互作用过程首先是从工程作用力的直接作用开始的。但是工程作用是多功能的，一种作用力可能不致于破坏地质环境平衡，但是在另一种作用力作用下地质环境受到干扰，向一定的趋势发展。这一作用也许对工程尚无不利的影响，但是发展到一定阶段可能引起另一阶段或另一作用发生，到那时才会产生对工程或对环境有明显的不良影响。当我们发觉不利影响时，其作用远远不是工程的直接作用所表现的，而是作用多次转化的结果，这是相互作用的序列问题。

当我们建筑大坝时，首先考虑的工程稳定性是坝基的变形、渗透压力和抗滑稳定性，经过实验和验算，证明大坝荷载不足以破坏平衡，趋势受到制约。但是，坝基应力重分布，这一作用的趋势在一定的坝型条件下出现拉应力区和压应力区。应力重分布的结果尚不会产生对大坝的直接影响，但是随着大坝蓄水周期性涨落却导致新的作用，即库水从拉应力区入渗，在上游坝基的帷幕可能逐渐破坏，下游排水系统失效，这一作用趋势逐渐扩展，在坝基下出现高渗透压力。渗透压力的剧增在一定条件下导致扩展趋势，造成大坝基础的滑动失稳。著名的法国马尔巴塞坝的惨重失事就是这种过程的发展结果。我国的梅山水库连拱坝的右坝肩岩体变形也属于这种相互作用的结果。

又如在修建大坝时可能坝基稳定性没有问题，虽然有软弱夹层，但下游抗力体可提供较高的安全系数。上述这种渗透压力发展过程趋势受到制约。可是，坝体溢流每年下泄洪水，巨大的挑流水能冲刷着下游岩体。有时当下游岩体坚硬完整、又无软弱夹层时，这一作用趋势仍被抑制。但是，有些坝址坝基有平缓的软弱夹层。在这种情况下，坝址下游形成冲刷坑后就出现过类似的问题，后来采取了必要的治理措施。

在隧道的设计、施工中，一般只注意到隧道围岩的稳定性和施工期间是否有巨大的突水发生。在这两方面问题不太严重、并有相应措施的情况下，隧道方案从工程地质评价角度来看是可行的。瑞士一座隧道施工结束后工程运转正常，但是它却成为地下水的排泄通道，地下水径流和水位产生了逐渐的变化，虽然隧道内地下水流出量逐渐减少，但是水位仍在不断下降。地下水的排水、岩层的固结和变形随之进行，开始觉察不到，逐渐才发现隧道附近地区地面产生变形和下沉，附近一座大坝出现裂缝，威胁到整个地区的安全。

湖北盐池河山崩发生后，工程人员曾对山崩发生的机制进行了研讨。这次山崩从山体失稳的运动来看是很奇特的。从滑动角度看，软弱层的倾角很平缓，在块体运动方向视倾角才 $3\sim 5^\circ$ ，似乎抗滑稳定性是比较高的。从重力倾倒来看块体的基座宽度同块体的高度很接近，重心似乎很难移动到基座外，因而倾覆的稳定性也应当说是比较好的。这次山崩实际上是多年来自然过程和人为作用酝酿造成的。这个地区山体顶部由厚层岩构成，而下部为泥质灰岩等薄层状岩体构成，夹有磷灰石矿。在自然边坡作用下，下部软层的蠕变可导致顶部灰岩出现拉裂缝。几十年来又因开采磷灰石矿，采场达相当深度，造成地面变形，使坡顶开裂，自坡面向山里发展，自坡顶向深部发展，形成山崩的边界条件。当铅直

裂缝因充水作用后不仅裂缝可向纵深发展，而且和上述地裂缝形成作用一起造成块体的倾斜变形和水平层面的张裂，但在坡面上这种层面裂隙受压，不易排水。在这种条件下，既有侧向渗透压力，也出现块体底部的浮托力。在这种综合的荷载下坡顶有三个块体逐次向坡外倾覆造成巨大的山崩。因为这次山崩受到采矿的诱发作用，矿山受到的危害也就最严重，人员也有很大的伤亡。这种山崩的机制在意大利、捷克很多地方都有报道。人为的采矿不仅加速了失稳的过程，增大了失稳的规模，同时也大大加剧了成灾的严重性。

从以上一些实例中可以得到以下一些基本认识：

(1) 人类活动造成工程地质作用，参与到成灾过程中，是可以起诱发或触发灾害作用的，有时我们称为工程地质灾害。

(2) 即使在这种工程地质灾害的形成过程中，地质环境的内在结构和特性仍是决定性因素，人类工程活动应适应这种地质环境的要求。

(3) 工程地质灾害的形成是人类工程建设和地质环境相互作用的结果，这种作用有时是很复杂的，是多阶段的，作用的机制是在转化着的。

(4) 工程地质灾害的预测要求系统地考虑全部工程因素和地质因素的关系，判断其作用机制和作用趋势，有些作用将受到抑制，有些作用将有所扩展。对于扩展性作用要继续跟踪，并预测其是否产生机制和作用的转化。最后，才可排除可能受到抑制的作用，找出可能成灾或给工程和环境带来危害的过程。

复 习 思 考 题

- 1-1 什么是自然环境？自然环境由哪几部分组成？
- 1-2 什么是地质灾害？地质灾害是如何分类的？
- 1-3 我国的地质灾害发育及分布规律是什么？
- 1-4 人类活动可引起哪些地质作用？
- 1-5 环境地质区划的内容和步骤是什么？
- 1-6 工程与地质环境将如何协调发展？

第二章 工程地质环境的岩土基础

工程地质环境研究，首先考虑的是地质体的构成、特征及成因。他们决定了地质体的工程地质性质及其内在规律性和相互联系性。

第一节 岩体与土体

作为工程地质环境研究对象的环境地质实体，由地壳表层与工程建筑直接或间接相关的各种成因的土体、软弱岩体、岩体和地下水体等构成，它们是地质环境的物质基础。

一、土体

所谓土体 (Soil Mass) 是由一定的土体材料组成的，具有一定的土体结构，赋存于一定的历史环境中的地质体。土体结构是指土层组合和被节理裂隙切割成土块的土体内排列、组合方式。在研究土体时必须考虑到土体成分、土体结构和土体赋存的地质体环境等。土是土体的成分。土 (Soil) 是岩石经过风化、剥蚀、搬运和堆积而形成的。任何一种土体都是由固体、液体及气体三相组份构成。从矿物学角度来看，土的固体组份系由原生矿物颗粒、粘土矿物、有机质和胶体四种成分构成。土体中的液体成分主要是指吸附在土体颗粒表面和胶团周围的水。

目前对一般土体的研究已比较成熟，但对特殊土的认识尚不足，如西北的黄土、华南的红土及膨胀土、沿海的淤泥土和东北及青藏的冻土等，都严重影响地基的稳定性，易受外界条件变化的干扰而破坏环境。

黄土 (Loess) 是指粉粒含量大于 60%，孔隙比接近 1，肉眼可见大孔隙和垂直节理的粘性土。大量分布于我国西北、华北，多在二级以上的阶地上或塬、梁、峁上，具有明显的湿陷性，特别是风成的新黄土更是如此，加上某些地区的新地裂发育，对水库、渠道和厂房地基均有影响，如边坡的塌滑、地基的沉陷等。某些水成的类黄土也会造成很大的危害，如黄河中上游地区大量分布的类黄土区经常发生大型高速滑坡，1983年春，甘肃省东乡族自治县发生的洒勒山滑坡给人民生命财产造成惨重损失就是一例。

膨胀土 (Expand Soil) 属高塑性粘性土，它含有一定数量的蒙脱石矿物颗粒，吸水膨胀，失水收缩。广泛分布于湖北、河南、山西、广西等省区，其成因多样，如残积、坡积、冲积和湖积等，常发育在斜坡、丘陵和阶地上，以其胀缩的敏感性对各种建筑设施产生破坏作用，有的铁路边坡经多次处理尚不稳定。如山西太焦线及其附近城市建设普遍遭到破坏，不得不迁建。

软土 (Soft Soil) 是指孔隙比大于或等于 1，天然含水量大于或等于液限，承载力低于 100 kPa 的软塑到流塑状态的粘性土。如淤泥或淤泥质土以及其他高压缩性饱和粘性土、粉土等，工程上习惯称为饱和软粘土 (或软土)。主要分布于上海、天津、广州、温州、连云港等省市。软土地基往往会产生过大的沉降而使建筑物失稳。因此，必须重点研

究其压缩性、渗透性、抗剪性等。

华北平原、松辽平原大量富水细沙层的存在，在地震影响下极易出现大面积砂土液化和流砂现象；东北、青藏地区的冻土融冻后则导致道路“翻浆”，等等。

二、软岩

第五届国际地质大会软岩讨论会，将软岩（Soft Rock）定义为：岩石材料本身软弱或具有软化结构构造的岩石。1987年广东茂名软岩会议将软岩概括为“强度低、易变形和具膨胀性、崩解性、易流变的松散软弱岩层”。工程地质上软岩是指新鲜岩石的饱和单轴极限抗压强度小于 30 MPa 者。按以上定义，常见的软岩主要有：

(1) 性质软弱的原岩，如胶结程度差的砂岩、泥岩、泥灰岩、凝灰岩以及含大量云母、绿泥石的片岩、千枚岩等。

(2) 经构造破碎及次生风化的岩石，如风化岩、断层破碎岩、泥化夹层等。

(3) 与水作用敏感的岩石和各类膨胀岩。

软岩的存在，不仅构成了岩体稳定性分析的重要边界条件，而且往往是控制岩体稳定性的重要因素之一，常出现的工程地质问题是：

(1) 易产生重力变形破坏现象，在侏罗系、白垩系和第三系中软岩往往产生重力变形和破坏现象。

(2) 地层中发育的软弱夹层易孕育成滑动面。如长江葛洲坝工程坝基由白垩系紫红色砂泥岩、砂砾岩组成，其内发育的软弱夹层的摩擦系数（ f ）仅为0.17。当然，滑面的形成与否也与具体的气候和地貌条件有关。

三、岩体

岩体（Rock Mass）是经历过多次、反复的地质作用，经受过变形、遭受过破坏，形成有一定的岩体成分、一定的结构、赋存于一定的地质环境中的地质体，作为力学作用对象研究时称为岩体。

岩体一直是环境工程地质学重点研究的对象，其主要问题是：

(1) 对于成岩较好岩体，如古生界和中生界的沉积岩及弱风化火成岩、深变质岩，多产生崩塌现象。如长江西陵峡新滩链子崖山崩与滑坡，一直持续了近两千年而未最终休止。

(2) 在灰岩地区，常产生岩溶现象。

(3) 基岩裸露的峡谷库段，则往往是诱发水库地震的一个基础条件。

第二节 工程地质岩组与岩土体结构

所谓工程地质岩组，是时代上延续、空间上相依，且工程地质性质相近的一套地层和岩体。工程地质岩组的地学规律决定了相应岩体的结构及性质。

一、工程地质岩组

（一）工程地质岩组的划分类型

工程地质岩组的研究具有实用性。国际工程地质学会为适应环境工程地质和区域工程

地质编图的要求，1976年提出了四级分类系统，即：

工程地质类型 ET (Engineering Geological Type)

岩石类型 LT (Lithological Type)

岩石复合体 LC (Lithological Complex)

岩组 LS (Lithological Suite)

工程地质类型是据岩石的物理性质的变化范围和一般的工程地质特征来划分的。岩石复合体具有确定的岩土类型组合，是中等比例尺和某些小比例尺的制图单位。岩组为一定古地理和构造条件下的许多岩石组合而成，一个岩组具有相近的工程地质性质。

(二) 工程地质岩组的基本特征和评价

当前，工程地质岩组划分是在建造类型的基础上进行的，而不同建造的基本特征是有差异的，因此岩组也具有这些基本特征。

1. 沉积岩建造的各类型岩组

岩性岩相变化大，沉积模式复杂，相变显著，层面特征发育清晰，典型层状结构，常出现软弱夹层或透镜体，层间错动明显。

这类岩组的工程地质评价，要注意岩组的各向不均一性、岩体物理力学性质的各向异性、软弱夹层特征和不稳定特征，以及遇水作用岩性转化（如泥化、膨胀、流砂等）。

2. 岩浆岩建造的各类型岩组

岩性较简单，组织结构复杂，相变多样，原生节理发育，具块状结构和镶嵌结构特征。岩性均一，各向同性，强度较大。其工程地质评价是注意风化等问题，特别是风化岩的强度评价问题，此外，还要注意岩脉的特征和空间分布状况。

3. 变质岩建造的各类型岩组

岩性复杂，种类繁多，片理、板理、层理、片麻理发育，层状碎裂结构，具明显的各向异性及不均匀性。

工程地质评价，主要注意岩组的构造破碎程度，如层间错动、揉皱、节理等，变质结构面的强度特征及软岩特征等。

对以上各建造岩组进行评价时，均要注意水的作用，以及水在岩体内的赋存形式、渗透能力（流动场）、对岩体性质的影响等；同时注意针对具体目的的定量评价，如强度参数、声波波速、变形参数、物理性质指标。

二、岩土体性质与结构关系

近 10 a 来，人们越来越强调的是岩体的工程地质性质，而非岩石的工程地质性质。因为二者有着本质的区别。现场载荷试验和承压板原位测试为区分这种差别提供了有效手段，三轴试验模拟岩体的受力状态更接近实际情况（见图2-1）。

谷德振（1979年）等提出了岩体结构的概

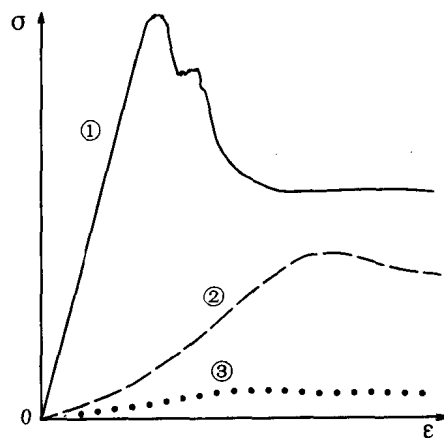


图 2-1 一定围压状态下岩体岩石断层破碎带试件的应力—应变示意图
花岗岩块； 裂隙发育的花岗岩体的试件；
花岗岩体中破碎带的试件