

国外工程地质研究

地质矿产部水文地质工程地质司 选编
地质矿产部情报研究所

8743116

地质出版社

国外工程地质研究

地质矿产部水文地质工程地质司 选编
地质矿产部情报研究所

地质出版社

内 容 提 要

本译文集是以第四届国际工程地质大会的论文为基础编译的。内容涉及区域工程地质、环境工程地质、城市与滨海地区工程地质、隧道工程地质和岩土工程地质特性研究等方面,反映了当前国外工程地质工作的动向和研究水平,是从事工程地质、环境地质工作的科技人员和有关院校师生有益的专业读物,也可供从事区域开发、城市规划、地下工程施工方面的技术人员和管理人员参考。

国外工程地质研究

地质矿产部水文地质工程地质司 选编
地质矿产部情报研究所

责任编辑:楚占昌

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: $30 \frac{3}{4}$ 字数: 720,000
1986年10月北京第一版·1986年10月北京第一次印刷

印数: 1—1,955册 定价: 7.10元

统一书号: 13038·新311

编译者的话

这本译文集是根据我国参加第四届国际工程地质大会的代表们的建议，在地质矿产部水文地质工程地质司戴广秀副总工程师组织下编译的。

中国科学院地质研究所王思敬研究员为译文集的选题提供了许多宝贵的意见。

第四届国际工程地质大会共有二百八十多篇论文，包括环境评价与开发的工程地质研究、隧道开挖的工程地质问题、岩土建筑材料、湖泊与水库的工程地质问题、滨海地区的工程地质问题以及工程区的地震与地震-构造研究等方面的内容。这里选译了其中的五十九篇文章，并从其它刊物中补充了几篇区域工程地质方面的材料，全书共计六十三篇文章。这些论文反映了当前工程地质学科的基本动向和水平，对我国的工程地质工作有参考价值。

本译文集由地质矿产部水文地质工程地质司和地质矿产部情报研究所联合编选。译文的选择是根据我国参加第四届国际工程地质大会代表们的广泛推荐，由戴广秀、李毓瑞、毛同夏三同志最后选定的。大部分文章都由参加工程地质大会的代表们进行译、校或组织有关人员译、校，最后由尚若筠、马万钧同志复校定稿。毛同夏同志负责全书的具体选编工作。戴广秀和毛同夏同志对全书进行了统一的技术性审校。全部图件由舒令弘同志绘制。

目 录

编译者的话

区域工程地质学的现状及其发展趋势	1
工程地质学的发展历史与现状	13
工程地质制图用的岩土描述与分类	18
岩体的工程地质分类	45
联合王国岩土工程地质图	50
西班牙阿尔梅里亚省自然环境地质图	63
规划、设计和施工所需工程地质调查方法的基本原则	70
为保护和经济开发对考尔基达湿润亚热带地区潜育过程的调查	78
捷克斯洛伐克山区的工程地质研究	82
土地使用能力分析——以意大利弗留利拉戈纳地区计算机绘制的大比例尺 图为例	88
作为区域工程地质预测依据的地质环境变化图	95
在土地利用规划中工程地质的优选分析	101
为英国东北部泰因县和威尔县的规划对该区灰岩地带的工程地质评价	107
水库库岸演化的预测和评价方法	117
对天然和人工盆地沿岸滑坡过程作区域性预测建立综合模型的理论问题	124
香港采用的城市工程地质填图方法	130
在巴黎蒙马特岗地特殊地质条件下的城市建设经验	135
工程地质学在减少固体废物处理现场地下污染方面的作用	141
离岸地区的区域工程地质填图	145
印度喀拉拉邦海岸侵蚀危急的评价	155
沙特阿拉伯中西部滨海平原潜在的土工问题	164
为印度东海岸地带的环境管理所作的遥感地形分析	171
希腊雅典卫城山边坡稳定问题	177
应用航空照片判译研究山谷边坡稳定性及其对天然湖泊形成的影响	182
由蚀变火山岩形成的超固结粘土边坡的滑动	189
水库诱发地震及有关现象的研究现状(评述)	200
地震小区划中的工程地质	210
印度西部大型工程评价设计地震的地震构造调查经验	216
工程场地地震危险的评价	221
因戈利工程区地震构造过程的一些综合地质调查与地球物理测量结果	228
首次应用重力法研究滑坡体	234
美国油页岩开发中的工程地质问题	240

沿河水电站水工建筑物与岩石环境的相互作用·····	246
安大略南部水平高地应力的方位和起因·····	254
工程地质学家在地下工程设计和施工过程中的作用·····	260
改进工程开挖设计的岩体特征描述·····	272
工程地质学和岩石力学在隧道掘进中的作用·····	285
适于隧道设计和施工的岩体土工技术分类·····	297
挤压岩体中隧洞支护设计方法的评价·····	301
评价乌丹普尔区(印度查漠和克什米尔)切纳尼水电站隧道岩石荷载的地 质依据·····	313
根据天然应力计算确定隧洞位置·····	319
隧洞介质弹性参数的地震法测定·····	327
在岩石受挤压条件下对隧道周围破裂带半径的评定·····	334
困难条件下隧道掘进的伞拱法·····	341
第四纪沉积层中隧洞挖掘引起的地面变形·····	348
电阻率勘察和隧道的研究·····	354
南澳大利亚湿陷性土的工程地质性状·····	362
粘土微组构研究的实际应用·····	367
固结粘土沉积物风化作用过程的矿物学、地球化学和微结构的研究及其与力 学性质的关系·····	373
粘土渗透系数与孔隙度的关系·····	379
荷兰未固结沉积物的地质分类与公路、铁路路基填土选用标准之间的关系·····	388
孟买高地近海区土壤在三轴荷载作用下的声学性质与工程性质·····	390
片麻岩风化形成的致密残积土的土工性质·····	396
红土一词在工程地质领域中的用法(评述)·····	404
对易于液化地基的研究·····	410
预测堆石性状的岩石特性指标·····	416
岩石材料的耐久性试验·····	426
岩石蠕变实验的评价·····	434
核电站工程现场岩石动力特性的测定·····	438
印度旁遮普邦比阿斯和德因坝址岩层动态测试的地震法研究·····	451
建筑材料调查中的新评价方法·····	458
体积节理统计法——测量岩体节理发育程度的有效而简单的方法·····	469
展望微波能在地基土加固中的应用·····	476

区域工程地质学的现状及其 发展趋势

毛 同 夏

前 言

工程地质学成为地质学中的一门独立分支,至今不过几十年的历史。它的产生和发展同人类的工程-经济活动有着密切的联系。

区域工程地质学作为工程地质学的一个重要组成部分,最初主要是研究工程地质条件的形成和区域规律,为经济建设活动提供区域的工程地质资料。随着科学技术的发展,区域工程地质学的研究领域不断扩大,目前已涉及土地利用、城市规划、矿产采掘、海洋开发、地质灾害预防以及环境保护等多方面的区域工程地质问题。区域工程地质工作越来越具有具体的针对性。

近来,区域工程地质学突破了只从宏观和静态方面研究工程地质条件的传统,开始注重动态研究。在区域工程地质条件的论证方面,已从定性描述向半定量和定量评价的方向发展,并力图对地区开发和建设中的区域工程地质问题作出具体解答。

现在,区域工程地质学面临社会和科技发展的巨大挑战。预料,今后在研究的广度和深度上都将会有很大的发展。

一、区域工程地质学的形成和发展

早在欧洲工业资本主义的发展时期,土木和采矿工程师为各自的工作需要,已在土木工程的范围内了解作为建筑物基础和采掘对象的岩石和土的性质。十九世纪晚期,W. H. 彭宁(英)第一次把工程学与地质学联系起来,提出了工程地质这个术语。到二十世纪二十年代,一批美国、英国和俄国的地质学家,开始参加铁路、运河及其它大型建筑物的地质勘察工作,研究了岩石和土的物理-力学性质与自然地质作用同工程建设的密切关系。所有这些工作,为工程地质学的形成准备了条件。

三十年代初,苏联开展列宁电气化建设计划,大批地质学家参加了伏尔加河等一系列河流上的水工建设的地质勘察工作。这些实践活动,使地质学家进一步认识到,解决工程建设问题,在地质上除了要研究岩石和土的特性及地质作用之外,还必须研究地质结构、水文地质条件和地貌条件等各种因素,初步形成了工程地质条件的基本概念。1937年,Ф. П. 萨瓦连斯基发表了《工程地质学》和《水工建设工程地质研究方法》两本著作,把土质学和工程动力地质学结合在一起,系统论述了工程地质条件的各个因素。这标志着工程地

质学开始在苏联成为地质学的一门独立分支。在工程地质学发展的初期阶段，其主要任务是研究具体工程建筑物的修建和使用的地质条件。

第二次世界大战后，各国转入经济建设时期。苏联着手进行西伯利亚、中亚和欧洲部分非黑土带地区的开发和建设工作，提出了了解和评价大区工程地质条件的任务。这就要求把工程地质学的一系列研究对象连结在区域的范围内加以研究，从而产生了区域工程地质学。

从五十年代以来，苏联已在许多地区开展了1:20万或1:50万比例尺的区域工程地质调查，编制了1:250万比例尺的全国工程地质图和其它中、小比例尺的区域性工程地质图。这些实践活动大大完善和丰富了区域工程地质学的理论和方法。1978年在对区域工程地质工作进行了系统总结的基础上，编写出版了《苏联工程地质学》八卷集。这部专著论述了区域工程地质学的理论基础，介绍了苏联的工程地质分区，是苏联区域工程地质学的代表性著作。它反映了七十年代中期以前区域工程地质学在理论和实践方面的基本水平。

在这部专著中，Г. А. 戈洛德科夫斯卡娅和И. И. 波波夫认为：区域工程地质学主要是研究各种工程设施的工程地质条件在地表和地壳的形成和分布规律，其理论基础是对决定着地区工程地质条件的那些地质特点的发育与形成的成因途径及地质活动途径进行分析。И. И. 尼古拉耶夫等人提出了区域工程地质学的主要原则是关于工程地质条件及其决定因素的概念。所谓工程地质条件，是指地质构造特点、岩石、地质作用和工程地质作用、地形、水文地质条件和冰岩条件。所有这些要素密切相关，并共同决定着区域经济发展的复杂程度。决定工程地质条件的因素有区域性地质因素和地带性地质因素。前者主要反映在区域地质构造特点方面；后者反映了自然气候分带性。这种分带性决定着区域的热量和湿度供给，也决定着主要作用的性质。这两种因素均决定于区域地质发展的历史。区域性地质因素是在漫长的地质时期内形成的；而地带性的地质因素则决定于更新世和全新世时期区域发展的情况。

《苏联工程地质学》的编写出版，对系统总结区域工程地质学的基本理论和进一步指导区域工程地质调查工作有十分积极的意义。

六十年代和七十年代是苏联区域工程地质学蓬勃发展的时期。在这一阶段，从总的趋势看，区域工程地质学的理论和实践，主要是以天然状态下的工程地质条件为基础。其研究对象主要是“岩土—地质作用—区域”。从本质上讲，这个阶段的区域工程地质学基本上是用静态观点研究工程地质条件。

七十年代以来，各国科学技术的发展速度很快，工程建设和地区开发的规模增大，人类活动对地壳表层的影响日益加剧。环境问题引起了各国工程地质学家的注意。1980年，国际工程地质协会发表了《参与解决环境问题的宣言》，要求开展以了解地质环境为目的的区域工程地质调查和编制世界性分类工程地质图。在区域工程地质学中增添了保护和合理利用地质环境的任务。根据这一新任务的要求，区域工程地质学不仅要评价工程地质条件现有状态的区域规律，而且要研究工程地质条件在人类工程-经济活动影响下可能发生的变化，预测地质灾害发生、发展的区域规律，以便合理规划地质环境的开发利用和减少地质灾害的危害。因此，现阶段区域工程地质学把工程地质条件看作是一个动态系统，把认识大区工程地质条件的形成和分布规律，并预测它们在人类活动影响下发生的变化，作为自己的主要任务。这个阶段，区域工程地质的研究对象已是：岩土—地质作用—人类工程

活动影响一区域。

工程地质学所研究的地质环境,是指地壳上部包括岩石、水、气体和生物在内的互相关联的多成分系统。人类工程-经济活动,可以使该系统内各种组分的性质和状态发生变化,改变自然地质作用和现象,形成新的工程地质作用和现象。地表面是地质环境的上限,人类作用于地壳的深度是地质环境的下部界限。每一种地质环境都有其特定的地质空间。它与相邻的地质空间,在构造特点、地层剖面、水文地质条件、地质作用和景观-气候环境等方面都有区别。人类活动可以对地质环境产生强烈的影响,而地质环境也能对工程设施产生巨大的反作用。地质环境对工程-经济设施的这种反作用,既取决于地质环境本身的构成,也取决于不同建筑物对地质环境作用的性质。因此,从区域工程地质学角度研究地质环境,一要研究其区域性规律,二要研究地质环境与工程设施系统的相互作用。所有这些论述,反映了现阶段区域工程地质学在理论上的发展。

近十年来,苏联重视研究人类活动对地质环境的作用,使区域工程地质学取得了迅速的、新的发展。现在,继续在近期经济发展区和远景开发区进行中、小比例尺的区域工程地质调查,编制全苏和地区性的专门工程地质图,研究预测区域工程地质条件在人类活动影响下发生变化的理论和方法。

目前,美国工程地质界主要围绕着土地利用和工程建设规划中合理利用与保护地质环境这个课题,开展区域工程地质和地质灾害的系统研究与编图,特别重视地震活动区的工程地质研究工作,把活动断层及其地震重现周期等作为评价地区稳定性的重要因素。

南斯拉夫也十分重视地震区的工程地质工作,对可引起地震强度变化的各种工程地质因素进行重点评价。

由上可知,当前区域工程地质工作的重点是研究:(1)工程地质条件的区域规律;(2)地质灾害;(3)地震活动区的区域稳定性;(4)人类工程-经济活动对地质环境的影响等方面的问题。

二、区域工程地质学的现状

国外进行区域工程地质工作,基本上存在两种不同的形式:一种是按国际图幅系统进行区域工程地质测量,如苏联;一种是结合地区的土地利用和城市发展规划等具体任务,开展区域性工程地质研究工作,如欧美等国。

苏联认为,掌握区域工程地质资料,有助于在地区开发和工程设施规划的初期阶段作出正确的决策。因此,把区域工程地质测量作为国家基本地质测量工作的重要组成部分,由地质部根据国家建设的需要,按缓急程度有计划地分图幅进行。近十年来,已在苏联欧洲部分非黑土带的北部地区、西伯利亚地区、贝阿干线地区和苏联南部山区,进行了1:20万或1:50万比例尺的工程地质测量工作,今后还将继续在经济开发区和远景区(包括陆棚区)开展超前工程地质调查和制图。

美国针对土地利用与城市发展规划和地质灾害的防治等具体需要,开展不同比例尺的区域工程地质调查和制图。已编制了1:750万比例尺的全国工程地质图。

英国为郡的环境规划目的,进行了1:5万比例尺的区域工程地质调查;编制了全国和地区的工程地质图。

捷克斯洛伐克为大区域开发、城市发展和环境保护等综合性规划的需要,编制了1:20万、1:5万及1:2.5万等不同比例尺的工程地质图。

各国开展的区域工程地质工作,丰富了区域工程地质学的内容,对区域工程地质学的发展起了促进作用。现简要综述其中几个方面的情况,以反映现代区域工程地质学的发展水平。

(一) 区域工程地质学研究内容的发展

在一个相当长的时期内,区域工程地质学的主要任务,是研究在自然环境下受地质构造和地质作用影响的岩土的工程地质特性及其区域规律,为大区的规划工作提供工程地质基础资料。这无疑可以使建设工作避开有不利自然地质作用的地区,选择有较好地质条件的地区。

随着各国大规模经济开发和工程建设的急速发展,人类活动对地质环境的影响日益加剧,重大的地质灾害事件时有发生,环境问题已成为全球性的重要问题。这促使工程地质学不仅涉及工程建设中的地质问题,而且涉及保护和合理利用地质环境的问题。区域工程地质工作同地质环境问题有着最为密切的关系。E. M. 谢尔盖耶夫在论述当前区域工程地质学的主要任务时,提出了“认识大地质区工程地质条件的形成规律”和“预测这些规律在人类活动影响下发生的变化”这样两个方面的任务,并且认为地质环境任务的提出是近十年来苏联区域工程地质学迅速发展的原因所在。

实际上,研究人类活动的影响,预测工程地质条件的可能变化,以解决地区开发和工程建设中的实际问题,现在已成为区域工程地质学中的核心问题。这同苏联区域工程地质学的奠基人И. Б. 波波夫和Н. И. 尼古拉耶夫当初确定的、区域工程地质学是研究地质构造和地质活动所造成的工程地质条件的各种因素在地球上出现的规律的规律的任务相比,已有了很大的发展。

(二) 区域工程地质的研究方法由建造分析发展为自然组合与建造分析相结合

工程地质填图的目的,是为了识别人类工程活动集中的那部分地质环境所有组成要素的历史-成因关系,并确定它们的空间分布规律。这个任务,在五十年代是采用建造(岩性-成因)分析方法来解决的。当时,只根据工程地质条件的一个组成要素——岩石及其组合来进行分类,划分出岩石的地层-成因综合体和岩性-成因(或岩相)综合体。所谓岩石的地层-成因综合体,系指同一成因、同一时代、形成于同一自然地理环境,并经历了共同的地质发展史的岩石的区域组合。同一地层-成因综合体的岩石,其造岩因素和各造岩因素在空间上的分布及其相互作用的机制是统一的。

后来,许多区域工程地质学家指出,这种表示岩石为主的作法存在狭隘性和片面性,认为仅据地质构造和岩石的矿物成分,不能对岩石的状态变化和温度-湿度动态、岩石的水理性质和物理-力学性质、外生地质作用发生和发展的因果关系作出圆满的解释。必须对工程地质条件的分带因素进行分析,考虑自然环境的全部因素,并根据统一的科学原理,对这些因素既互相联系又互相制约的关系进行综合分析,因而引进了景观指示法。

景观是指一个地区自然组合的外部形态。所谓自然组合,系指在地球表面成因相同的一定范围内,所有自然环境要素互相紧密联系形成的统一的自然体,是区域最新发育阶段岩石圈(岩石的建造、地层-成因组合和岩性-成因组合一级的地质体)与大气圈、水圈、生物圈相互作用的产物。这个自然体的特征,首先决定于气候条件和地质结构。在同一气

候条件下,岩石、地下水、现代地质作用是形成组合体的主导因素,构成组合体的基础。景观指示法的应用,大大加速了苏联的区域工程地质测量工作。

七十年代以来,区域工程地质预测问题成为突出问题,促使自然组合理论得到了进一步的发展。自然组合被看作是一种由互相联系的单元(岩石、地下水和地表水、土壤、植被等)和要素(较低一级的自然组合)构成的自动调节和自动恢复的开放系统。把工程地质条件看成是亚系统,是“自然组合”系统的组成单元,而把岩石看成是亚系统的多要素单元。

景观(组合)法的应用,使得在区域工程地质测量中可以利用自然组合的外部景观要素测绘组合的内部结构,通过分析自然组合的形态构造,来评价工程地质条件的空间变化,预测外生地质作用,并充分利用工程地质测量的成果来制订环境的保护措施。

景观法填图是对传统的以岩石为基础的工程地质填图方法的重要补充。根据苏联提供的经验,自然组合与建造分析相结合的方法是很有前途的。这种方法与“重点区工作法”和遥感技术相结合,使区域工程地质测量工作的效率和质量大为提高。这是区域工程地质方法学的重要发展。

(三) 地质作用的预测评价

当代工程地质学面临的最重要的问题之一,就是预测自然地质作用和工程地质作用发生的空间、时间和强度。通常采用的预测方法有地史分析法、岩土力学法、工程地质比拟法和模拟方法。由于地质作用和地质系统十分复杂,现有这些预测方法还不足以可靠地解决这个问题,许多国家的工程地质学家都在探索新的预测评价方法。

1981年,A. A. 卡甘(苏)在《系统工程地质预测的某些问题》一文中,提出了根据系统方法的原则进行工程地质预测的意见,他认为,工程地质有对应、继承、相互制约、稳定性和适应性等基本规律,可以利用这些规律,评价区域的经济开发条件以及这种开发对工程地质环境的影响。其理论基础是把工程地质学的研究对象看成是系统性的,每一系统都由低一级的系统构成。主要预测过程为:

- (1) 根据工程地质预测的任务分析外力作用,从而指明主要的预测方向和选择预测方法;
- (2) 明确工程地质系统的等级、亚系统的数量和因素;
- (3) 针对自然条件下的外力作用,确定工程地质系统的界限;
- (4) 查明构成工程地质系统的某些亚系统的重要性。亚系统的重要性主要取决于它对外力作用的影响,或外力作用对亚系统的影响。
- (5) 对每一亚系统的动态进行预测。预测时,要考虑亚系统之间的相互影响和对外力作用反应的性质与速度;
- (6) 根据对全部重要亚系统的预测来预测工程地质系统。

卡甘在这里只是提出了工程地质预测的一般原则,没有解决具体的预测方法问题。

滑坡是一种最常见的动力地质现象,对工程建设和土地利用都有严重的危害。在七十年代初以前,对滑坡作用进行区域性预测,主要是根据区域的相对稳定程度,以工程地质分区为基础;在有些情况下,计算局部地区的边坡的稳定性,用比拟法把计算结果外推到相邻地区。由于工程地质条件时空变化大,这类预测方法的可靠性受到很大限制。

1973年,苏联应用这种定性的方法编制了1:1000万比例尺的全国滑坡发育危害图。图

上划分出：滑坡作用高度危害区、推测的高度危害区、中等危害区、推测的中等危害区和害极少有滑坡危害的地区。这是对苏联境内滑坡发育进行区域性预测评价的一次尝试。

1977年，全苏水文地质工程地质研究所提出了一个用“滑坡趋势”综合指数预测区域滑坡的方法，这是一种半定量方法，其预测过程是：

- (1) 对研究区内的滑坡进行分类，编制分布图，确定活动程度；
- (2) 确定对区内滑坡发育有重大影响的因素，把每一因素进行分级；
- (3) 绘制所选定因素的综合分析图；
- (4) 计算各类因素分布区内活动滑坡的范围，确定出现滑坡的概率；
- (5) 评价因素的重要性；
- (6) 根据预测评价值，计算滑坡作用的可能性，绘制出区域分区图。按滑坡活动性的概率划分为：概率很高（概率值大于0.35），概率高（0.35-0.30），中等概率（0.30-0.25），概率低（0.25-0.20）与概率很低（小于0.20）五级。

1982年，Ю. Б. 维诺格拉多夫等人认为，滑坡势（空间预测）法以及滑坡韵律分析和查明滑坡与气候、水文和地质-地球物理因素的依从关系（时间预测），是对滑坡进行区域性预测的很有前途的方法。

最近，美国的P. 莱辛等人提出通过分析与历史滑坡的发生有关的地质因素来评价未来的滑坡危险性，这基本上是一种统计学的方法。采用这种方法还只能得到滑坡危险性大小的概念，不能准确预测出滑坡发生的地点、时间和强度。

值得指出的是，现有的预测评价方法，大多是针对自然地质因素进行的，没有考虑到人为因素的作用。在人类活动因素的影响下，滑坡及其它动力地质作用的动态可能发生极大的变化，这更增加了定量预测评价的复杂性。此外，对地质作用进行时间上和强度上的预测，远比空间上的预测要困难得多。可见，研究定量预测各种地质作用的科学方法，是区域工程地质学今天面临的一项迫切而严峻的任务。把实际观测和各种模拟实验方法结合起来可能是今后解决这方面问题的一个途径。

(四) 区域工程地质评价

区域工程地质评价的目的是，判别区域工程地质条件各组分的质量，为解决土地的合理利用、工程建设规划和环境保护等方面的问题，进行区域工程地质论证，选择最佳方案。这是近几年来，区域工程地质学为适应合理利用和保护地质环境的需要而发展起来的新课题。虽然，目前这方面的工作还处于探索过程中，但这反映了区域工程地质学正朝着定量评价和最优化的方向发展，很值得注意。

工程地质资料的定量分类是进行区域工程地质评价的必要条件。

为使工程地质资料统一化和标准化，国际工程地质协会提出了一个岩土的分类系统，这个分类以岩性和形成方式为基础，把岩土材料划分为四级类型：(1) 工程地质类型——具有均一的岩性特征与物理状态；(2) 岩性类型——其成分和组构是均一的；(3) 岩性综合体——包括一套在成因上有联系的岩性类型；(4) 岩性组——包括许多个在相似的古地理和构造条件下形成的岩性综合体。

有些学者以岩石的地质和构造特征为基础提出了岩体的工程地质分类的意见：划分为岩性-结构岩体与不连续岩体两大类岩体，前者为构成空间不同级序的褶皱构造的各种地质综合体，后者为由不连续错位所形成的线型地质综合体。

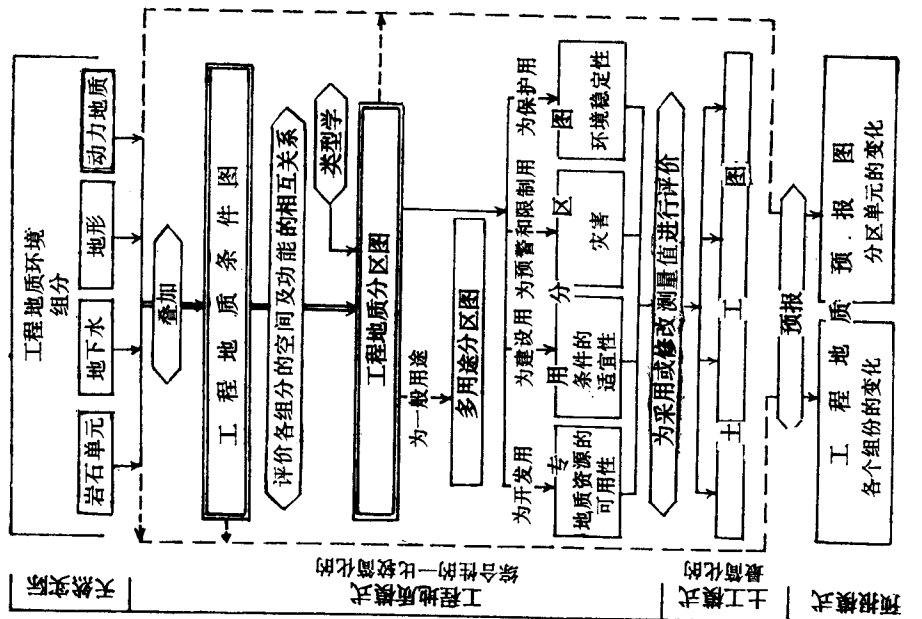


图 1 工程地质环境比较通用的多用途模式逐渐转换为高度专用的模式
(专用分区图、土工图和预报图)

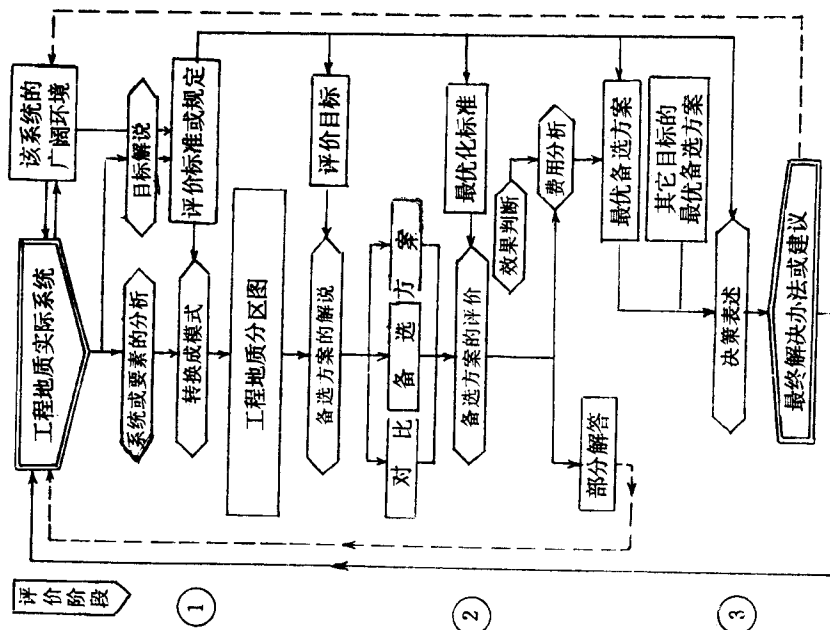


图 2 区域工程地质评价选择最优方案的决策分析流程图

岩土分类系统的统一化，为区域工程地质评价中利用不同时间、不同来源的岩土资料，提供了统一的标准。

编制工程地质图是对研究区进行工程地质评价的基础。国际工程地质协会的编图指南中，把工程地质条件图和工程地质分区图作为反映工程地质天然条件的根本模式。工程地质条件图是描述图区内各个岩土单元、地下水类型、地形、各种动力地质现象的特性和分布的图件；而工程地质分区图则根据工程地质条件各主要组份在空间上及功能上的相互关系进行分区。

近几年来，为满足评价各种专门问题的特殊需要，有些国家，在基本工程地质图的基础上，又编制了各种专门工程地质图。例如，在捷克斯洛伐克，根据解决土地开发利用和工程建设的专门问题，编制了四种基本类型的专用图：①地质资源（包括地下水）的保护和合理开采图；②区域规划、土地开发与建设图；③地质灾害预测及措施图；④地质环境保护图。M. 马图拉用图 1 的图式表示在工程地质评价中由多用途工程地质图转换为专用工程地质图的过程。

区域工程地质评价的核心问题是选择最优化方案，其工作过程一般分三个阶段进行，如图 2 所示。首先，选择和确定工程地质条件的主要组份和最相关的因素，规定评价标准；然后，根据环境生态的合理管理、土地最佳利用的方式、矿产资源或水资源的合理开采和保护、以及选择最优建设地点等方面的要求，用二元决策分析方法确定对比方案；最后，综合考虑效益、费用及其它社会因素等，选出最佳方案。

在捷克斯洛伐克，最优化程序已被应用于下列三个基本领域的工程地质评价：（1）评价区域内各分区单元最优的土地利用潜力；（2）选择区内特定土地用途（如住宅区、工业区、固体废物处理场地等）的最佳地区；（3）确定一个特定地区的最优用途或最优开发方式。

最近，捷克的柯门纽斯大学工程地质系应用自动化程序，为赫隆都会地区的土地利用规划进行了优选分析，其流程分四个阶段：

第一阶段，根据多用途工程地质分区图和农业土壤、建筑材料、矿产和水资源等资料，把实际工程地质系统变换为进行最优化分析作基础的模型；

第二阶段，把图件数字化并输入计算机；

第三阶段，模型最优化阶段。根据地质环境各主要影响因素，确定方案的工程地质适宜性；

第四阶段，通过变换输入的参数，求出最佳方案。把土地单元的工程地质适宜性值最高的三个备选方案图组合起来，得出城市建筑适宜性图，再由城市建筑适宜性图与地质环境潜力图结合，最后产生最佳土地利用和地质环境保护的综合分区。

最优化分析方法的发展使区域工程地质评价的水平达到一个新的高度。

（五）工程地质制图和工程地质分区

近十年来，工程地质制图工作取得了明显的进展。有些国家开始采用电子计算机技术进行制图工作；在图件内容方面，要求反映出评价环境的工程地质问题所需要的资料和便于预测规划的工程项目可能引起的工程地质环境的变化；探索各种专门性工程地质图的内容和表现形式。

当前，区域性工程地质图件，就其形式和内容来说，常见有以下几种：①反映区域工

程地质条件基本规律的图件,主要有工程地质条件图和工程地质分区图;②为某些专门目的编制的区域性工程地质图,例如,捷克为土地的合理开发利用,为地质灾害的防治,为地质环境的保护等目的编制的专用工程地质图;③表示人类工程-经济活动引起区域地质环境变化的图件,如苏联同东欧国家联合编制的东欧地区矿产开发引起的地质环境变化图、水工建筑引起的地质环境变化图、工业-民用建筑和道路修建引起的地质环境变化图等;④捷克斯洛伐克为把工程地质资料转变成规划、设计和建设所需要的信息而编制的土工图,这种图表示采用专门的工程(土工)措施使特殊的工程地质环境适用于各种不同类型的工程用途;⑤工程地质预测图,等。

工程地质分区图通过分区的形式,表示工程地质条件的区域空间关系。分区是区域工程地质学中的一个重要的理论问题和实际问题,对于正确认识和反映工程地质条件的区域规律和指导工程-经济活动都有重要意义。苏联区域工程地质学家 И. В. 波波夫早在 1957 年就探讨了区域工程地质的分区原则,提出了一个四级分区方案:第一级区和第二级区分别根据构造特征和地貌条件划分,第三级区的划分依据是地层组合的结构,第四级分区则按水文地质条件和外生地质作用。这个分区原则,在苏联得到普遍的承认,并一直沿用至今。这种分区原则适用于大地构造条件复杂,并完全控制着区域工程地质条件基本格架的地区,反映出天然状态工程地质条件的基本规律。

近来,苏联工程地质界提出了进行工程地质分类的问题,并把工程地质分类作为预测区域地质环境因人类活动的影响而发生的变化的基础。苏联的工程地质学家认为,任何区域的工程地质条件,都是那里的全部自然因素综合作用的结果。这些因素可以分为区域性地质因素和地带性地质因素两大成因类别。前者包括区域的构造条件、最新构造运动的性质和强度、区域水文地质构造的类型和主要特点、地质作用的特性和强度;后者指剖面上部岩层特别是潜水层的状态和性质(相的状态、埋藏深度、化学机制)、带状外生作用(风化作用、侵蚀作用、堆积作用、盐渍作用、沼泽化、冻结、泥流、潜蚀等)、第四纪沉积物和地形的带状特征,这些因素主要取决于现代气候因素。区域地质因素是工程地质条件的原始的主导因素,带状地质因素是次生的附加因素。采用双列交叉的分类系统,把这两种分类单元叠加,即划分出工程地质条件类似的工程地质区域类型。在同一个区域类型内,人为影响可能产生的后果基本相同。

目前,关于工程地质分类问题,还没有提出一个统一的分类原则,需要继续进一步探索。但是,由于工程地质分类考虑了人类活动因素的影响问题,因而,Е. М. 谢尔盖耶夫认为它对于区域工程地质学今后的发展具有重大的意义。

三、区域工程地质学的展望

随着环境问题的提出,围绕城市规划、海洋开发、矿山采掘以及防治地质灾害与保护地质环境等专门性问题而开展的区域性工程地质研究工作发展很快,这是当前区域工程地质学一个值得注意的发展趋势。

世界上城市化的速度很快。据联合国的预测,到本世纪末,地球上将有二分之一以上的人口集中在城市。这必将提出大量城市规划建设的任务。

城市地区是人类活动对地壳表面影响最大的地区。城市建设,涉及土地的合理利用、

地基基础条件、水资源合理开发、工业区、居住区与废物处理场以及各种管线和道路的合理布局、防治地质灾害和环境保护等一系列问题。城市区的建设要尽可能避开不利的地质环境，因此，十分需要对城市规划地区进行综合性的工程地质评价。

在美国，目前有百分之七十多的人口居住在城市，至本世纪末，预计将增至百分之八十五。其城市占地面积，1980年与1960年相比，增加了一倍。城市发展带来了一系列的工程地质问题，因此，美国地质调查所把开展大城市及其邻近地区的城市工程地质研究作为工程地质工作的战略任务之一。

英、苏、法等国，为了满足开展城市工程地质工作的需要，已在一些城市建立了工程地质数据库。

现代的城市建设，由于高层建筑物和地下设施的大量发展，对工程地质条件的评价要求很高，而且，因为有卫星城镇和众多交通运输网的纵深配置，规划区涉及的范围比较大，使城市工程地质工作越来越成为一项综合性和区域性的工程地质工作。

采矿区的工程地质工作，也日益受到区域工程地质学家的注意。

在近二十年内，苏联采矿业大约每十至十二年翻一番，采矿工作中岩石的年搬运量超过30亿立方米。一些国家的采矿深度达到3,800多米，大面积上的油、气、水的开采和露天采矿场的深度与范围不断增加，有的矿区，采矿工程的占地面积达到几千平方公里。强烈的采掘活动和大量堆放矿碴，使岩石圈上部的工程地质条件发生很大的变化，促进外生地质作用的发生和发展，引起采矿区一系列复杂的问题。

过去，采矿工程地质工作区的范围比较小，任务也比较单一。现在，由于采矿活动的广度和深度大为增加，向工程地质学提出了许多需要研究的新课题，例如，为合理布置露天采矿场、废石矿碴堆放场以及其它地面设施进行工程地质评价；矿区土地的合理利用和采矿后的土地恢复问题的评价；开采条件下矿区工程地质条件变化的预测；采矿过程中和开采后可能发生的地质灾害的评价与预测以及研究深部高温高压下采掘的工程地质条件，等等一系列与采矿区地质环境的合理利用和保护有关的工程地质问题。采矿业的发展将促进矿区综合性工程地质工作的发展。

大陆架的开发工作在最近十多年来有了很大的发展，许多国家进行了海上油、气资源及其它矿产资源的开发和港口与海底工程的建设。对滨海和大陆架海底范围内的地貌特征、沉积物的物理-力学性质、动力地质作用以及人类活动引起的变化等方面，做了许多调查研究工作，产生了海洋工程地质学这门新兴的学科。

海洋工程地质学专门研究海域范围内地壳上部的工程地质条件。海洋工程地质学包括了海洋土质学、海洋工程动力地质学、海洋区域工程地质学以及海洋勘探测试技术等方面的内容。

苏联已在黑海地区，为海岸地带的综合开发和环境保护以及修建海底工程进行了大量的海洋工程地质调查工作。印度也为海岸地带的环境保护目的开展了类似的工作。虽然不少国家已经开始加强他们对大洋底的地质研究工作，并取得了许多令人鼓舞的进展，但进行海洋工程地质研究工作的范围，目前仍只限于滨海陆棚地区。

海洋占地球表面的百分之七十以上，是人类可以扩大活动范围的广阔场所。现代科学技术的迅速发展，为进一步充分利用海洋提供了可能的条件。可以预料，今后在海域的工程-经济活动的规模和速度将进一步增加，并逐渐由浅海向中深海发展。这种趋势，

无疑将进一步促进海洋工程地质学的发展。

环境工程地质工作，是七十年代以来为适应合理利用和保护地质环境的需要而发展起来的。主要研究工程建设地区和经济开发区的地质环境质量和人类工程-经济活动可能引起的地质环境变化。

地质环境的恶化，常常造成严重的地质灾害，给生命财产和经济建设带来危害。发展中国家每年由地质灾害所造成的经济损失约相当于国民生产总值的百分之一至百分之二。许多国家把开展环境工程地质工作作为预防或减少地质灾害可能造成的危害的重要措施之一。

环境工程地质是当前国际工程地质界关注的重要课题。美国已把防止地质灾害和保护地质环境作为区域工程地质工作的一项长远的战略任务，并为此进行了许多理论上和实验室的研究，力图通过环境工程地质工作，探索一条防止和减轻地质灾害影响的途径。

人类工程-经济活动对地质环境影响的加剧，是促使环境工程地质工作发展的主要原因。现在，人类活动的影响已成为对地壳表层有强大作用的因素，可以与任何一种天然的外营力作用相比。有人估计，人类修筑的堤坝总长度已超过了地球赤道的长度，人类生产活动每年搬运的物质有10,000立方公里之多，预计到2000年，地球陆地面积的百分之十五将为楼宇、道路、运河、水库、露天采矿场和矿井等工程建筑物占据。因此，有些工程地质学家预言，到二十一世纪，合理利用和保护地质环境的问题，将比开采矿产更有意义。这意味着环境工程地质工作今后将会有更大的发展。

地震活动区的工程地质工作受到了人们的注意，并正在产生一门新的分支学科——工程地震学。其主要任务是研究地震活动区的工程地质条件及其对地震烈度变化的影响和地震活动性对工程地质条件的影响。

区域工程地质学由于面临要解决许多区域规划和工程建设中的实际问题的繁重任务，要求在勘测技术、定量评价和预测的理论与方法方面有较大发展。

在勘测技术方面，高效率、大信息量、低费用的方法将是今后的发展方向。物探方法和遥感技术将成为发展的重点。据报道，西方国家1982年工程物探方面的投资额比1980年增长了百分之八十五，达到2419.1万美元，其中，应用于海域的工程物探投资额最大。苏联B. A. 博戈斯洛夫斯基等人认为，航天地质观测具有很大的信息密度，可显著提高地球物理测量在解决工程地质问题方面的能力，发展区域物探和遥感方法对区域工程地质工作有重要意义。

1982年西方工程物探投资额表

应用领域	地 面	海 洋	航 空	井 中	总 计
投资额 (千美元)	4245	19395	208	343	24191

测试技术将进一步向自动化的方向发展。法国在七十年代已提出了自动钻进定位的原位测试方法，在钻进过程中，同时完成测试地层参数的任务。这种方法既简化了工序，又提高了测试数据的精度；美国用微型计算机与测试仪器连接，使测试过程实现自动控制和自动记录。可以认为，这些动向代表了测试技术今后的发展方向。

进一步提高工程地质评价和预测的水平，是许多国家的区域工程地质学家正在加强研