

环境工程地质学展望

谭周地

一、环境工程地质学的兴起

最近十几年来,随着环境科学的迅速发展,环境工程地质学正在逐渐形成一门新的边缘学科,即作为环境地质学的重要组成部分,也作为工程地质学的一个新的分支,并且成为现代工程地质学的标志。

这是因为:一方面,随着工程建设规模日益增大和工程建筑物结构日益复杂,对地质条件的要求越来越高。如修建高楼大厦、高坝大水库和核电站等宏伟工程建筑物,为保证其安全和正常使用,不仅要求建筑物地基具有足够的稳定性,而且要求建设地区具有较高的区域稳定性。另一方面,随着人类工程经济活动影响越来越强大,不良环境效应——如同恩格斯所称自然界对人类的报复——也日益明显。如据近年滑坡统计资料,70%的滑坡的发生或复活,都直接与工程开挖有关。有的滑坡且成为巨大地质灾害。最典型的如意大利瓦伊昂水库蓄水后左岸大滑坡(1963年10月9日),滑体近三亿方,水库淤塞,库水涌向下游,死亡近3000人。我国鄂西盐池河磷矿山崩——滑坡(1980年6月3日)也造成死亡283人的惨痛事件。水库、矿山及深孔注水、抽水诱发地震活动也已得到公认。现在全世界经调查研究证实确系水库诱发地震的震例计有45处,待进一步查证的尚有40处,其中震级超过6级的有四处。震级最高的达6.5级,如印度柯因纳水库1967年12月10日地震,柯因纳市砖石房屋大多倒塌,死177人,伤2300余人。矿山地表塌陷,城市地面沉降等等环境工程地质问题也都日益引起人们关注。正是在这形势下,为了合理利用和保护或改善地质环境,以研究地质环境及其在人类工程活动下可能发生的变化为主要内容的环境工程地质工作,现在国内外都正迅速展开。1969年,美国制订的环境政策条例中规定,对于每项可能影响环境质量的工程活动,都要提出论证环境影响的详细报告。

七十年代以来,美国、苏联、印度和欧洲、北美等许多国家相继在地震、滑坡、岩溶区和一些大城市及矿山开展了环境工程地质工作。我国情况也相类似。人们已开始认识,在论证建设工程项目的可能性与合理性时,不仅要考虑建筑物能否安全稳定和正常使用,而且要考虑工程建筑物与周围地质环境能否相互适应协调,是否可能引起环境恶化(污染环境),产生或加剧不良的或灾害性的地质作用。鉴于保护环境、防止污染的意义日益重要,国际地质科学联合会(IUGS)于1970年正式成立“地质科学与人类”专门委员会,大力推动环境地质工作。1972年第24届国际地质大会将“城市和环境地质”列为第一个专题。1979年,国际工程地质协会(IAEG)在波兰召开了第一次“人类工程活动对地质环境变化的影响”专题讨论会。1980年接着在巴黎通过“关于参与解决环境问题的宣言”。宣言中明确提出:所有从事工程地质和相邻学科的工作人员,在设计 and 修建任何工程时,不仅必须注意工程设施的可靠性和经济效益,而且必须考虑保护和合理利用环境的问题;要求工程地质工作者,研究和评价自然地质作用与工程地质作用,并在空间上、时间上进行定量预测评价;要求开展

了解某些地区地质环境为目的的区域地质调查,编制世界性的分类工程地质图。要求在国际范围内全面开展环境工程地质工作。到1982年12月,在新德里召开的第四届国际工程地质大会上,“环境评价与开发的工程地质研究”及与其有关的论文共119篇,约占会议论文总数的三分之一。大致同时,1982年11月,我国地质学会工程地质专业委员会在湖北召开了第一次“环境工程地质问题”座谈会,交流论文约四十篇。1984年4月我国第二届工程地质学术会议上这方面论文约七十篇,占会议论文的五分之一。国内外上述情况表明,环境工程地质研究已成为工程地质工作的重要内容,而现代工程地质学已进入将地质环境作为研究对象的新阶段,环境工程地质学这一新的分支学科正在兴起,并且代表着工程地质学新的发展方向。

二、环境工程地质学的研究范畴

环境工程地质学是介于地质学、工程科学与环境科学之间的边缘学科。内容复杂,其基础理论很难予以确切定义,对其研究范畴实际也存在不同意见,因而常有广义和狭义环境工程地质学之分。

广义环境工程地质学认为,如同其它环境学科一样,从宏观方面来说,即研究环境系统本身,也研究环境污染问题。因此,其研究范畴包括地质环境及其在人类工程活动下可能发生的变化这两个方面。即,同时研究地质环境本身存在的对工程建设不利的地质作用、因素和工程建设引起的或加剧的不良地质作用与现象。地质环境本身对工程建设不利的地质作用和地质因素,实际工作中常称曰原生的(或第一)环境工程地质问题,主要的有如地震、火山、滑坡、泥石流、风砂、膨胀土等等。因人类工程活动引起的或加剧的不良地质环境效应,诸如地面沉降、塌陷、边坡与库岸坍塌以及诱发地震活动等等,则相应称为次生(或第二)环境工程地质问题。广义环境工程地质学将地质环境——工程设施统一起来作为一个系统,进行研究所这两类环境工程地质问题(或称工程地质环境问题)。

狭义环境工程地质学则强调环境科学,主要研究环境污染——人类活动对自然环境的各种破坏作用,因此以地质环境在人类工程活动影响下发生的变化,特别是工程活动的不良环境效应——也即上述次生(或第二)环境工程地质问题为主要研究对象。

可以理解,强调环境工程地质学,研究人类工程活动引起的地质环境的不良效应,对于加速发展这种新学科将有很大意义。但第二环境是由第一环境演变而来的,次生环境工程地质问题与原生环境工程地质问题之间常有密切成生联系。因此,环境工程地质学实际上是不可能仅限于研究地质环境因人类工程活动引起的变化的,同时也必将研究地质环境与工程设施的相互依存、相互制约关系,即如上所述,将地质环境——工程设施作为一个系统进行研究。

另外,有的研究者还认为,环境工程地质学既然主要研究地震、火山、滑坡、泥石流等各种天然的或人为的地质灾害,因此主张以灾害地质学取代环境工程地质学。实际上两者不能等同起来,二者研究内容和出发点都有较大的区别。地质灾害研究虽是环境工程地质学的重要内容,但毕竟只是一部分。

三、环境工程地质学的任务和内容

环境工程地质学是随着人类工程经济活动对地质环境的影响日益增强而发展起来的工程

地质学新的分支,其任务即在于合理利用和保护或改善地质环境。这新学科的具体研究内容大致可概括为以下两个方面。

一是工程地质环境质量调查、评价和工程地质环境区划的研究,即结合经济开发、工程建设计划调查、评价地质环境质量和进行区划的研究。

二是工程地质环境质量监测、预报及管理的研究,特别是不良和灾害性地质作用监测、预报及防治的研究。

(一) 工程地质环境质量调查、评价与区划

工程地质环境质量指的是地质环境在工程建设方面的素质,亦即,对工程建设的适宜性和能动性。

工程地质环境与工程地质条件这两个概念,虽一般可大致对应,但工程地质环境更突出人类的作用和人类与环境的相互制约关系。

关于地质环境的含义,通常理解为人类生活地球外壳——岩石圈与水圈、气圈、生物圈构成的多成分系统。E. M. Сергеев 教授等曾定义地质环境为地壳上部包括岩石、水、气体和生物在内的相互关联的系统。并强调在这范围内由于人类的作用,改变着自然地质作用和现象,或者形成新的工程地质作用和现象。地质环境范围内各种作用的产生和发展,是在人类工程经济活动影响下,其各种组分的性质和状态、各种成分重新分布与变化的结果。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限。看来,地质环境虽然主要指与人类关系密切的岩石圈上部,但严格规定其下限为人类作用的深度,也不一定完全适当。

工程地质环境质量调查可在区域工程地质调查基础上或结合区域工程地质的研究进行。除调查研究该地区工程建设的适宜性外,着重调查研究工程设施可能对地质环境的影响以及地质环境所发生的变化,可能对人类正常生活和工程设施正常使用的逆作用。

当前,工程地质环境质量调查主要是对大城市、大水库、矿山、交通干线和重要海湾、海岸地带进行专门调查研究,并常结合环境水文地质工作一道进行。我国现今正在黄淮海地区、长江及珠江三角洲地区、长江三峡水力枢纽区、南水北调工程影响区和沿海经济开发区等重点建设地区进行环境工程地质、水文地质工作。

工程地质环境质量调查方法主要是环境工程地质测绘与制图。1976年联合国教科文组织(UNESCO)出版的“工程地质制图指南”中提出,工程地质图要反映出评价环境的工程地质问题所需要的资料,要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。要求图上反映出:(1)工程地质环境(条件和作用);(2)由建设引起环境变化的程度和性质;(3)人类活动产生的代表性地质作用和现象。

制图比例尺以小比例尺(1:20万或更小)为主,少数情况为中等比例尺(1:10万~1:2.5万)。制图方法主要是收集分析已有地质资料,包括卫片、航片解译资料,结合进行重点地段的补充调查检验工作。重点补充调查存在的和可能发生的不良地质作用及地质因素。七十年代末,苏联与东欧国家合作编制的东欧地区1:250万比例尺四种专门性环境工程地质图包括:开发矿产引起的地质环境变化图,水工建筑和水利土壤改良设施引起的地质环境变化图,工业建筑、民用建筑与道路工程引起的地质环境变化图,和人类对地质环境综合利用引起的地质环境变化图。图上都反映了有关地质因素的资料,同时也反映了有关工程

设施及其所引起的地质环境变化资料。美国环境地质研究部门七十年代初曾应用Geogram法编制环境地质变化图。该法是调查收集所研究地区有关地质因素变化的历史资料,编制不同历史时期的环境地质图件,如该地区1000年前和现今的环境地质图,分析对比来研究该地区地质环境的变化。这种编图方法对研究平原区河道变迁、海岸线变迁及河口三角洲发展历史甚为适用。当历史资料较丰富时,能够分析、计算其变化的速率。

工程地质环境质量评价,在于评价地质环境工程建设素质的优劣程度。既分析评价各地质要素的素质,更着重分析评价各分区单元的素质,从而合理开发利用和保护地质环境。

1980年,苏联B·H·НОВОЖИТОВ教授曾提出,矿山环境工程地质调查评价应包括下述内容:

(1) 为合理布置露天采矿场、废石矿渣堆放及其它地面设施进行工程地质评价,特别要考虑土地的合理利用;(2) 预测矿床开采时工程地质条件的变化;(3) 预测和评价采矿过程中和开采后可能发生的地质灾害;(4) 为有效缩小采空区范围和地表占地面积,进行工程地质论证;(5) 对矿床的综合开发条件(如利用围岩作建筑材料等)作出工程地质评价。

为评定工程地质环境质量,必须研究评价指标和分级标准。各单项地质要素,如地形地貌特征、岩土体工程地质特性、地下水埋藏情况、岩溶发育强度、滑坡活动程度以及地震强度等等。现今有的已有统一的或基本统一的评价指标和常用的分级标准。对一个地区及区内各单元质量的评定,通常只能据各有关因素分别进行评价,而很难制订普遍适用的综合指标,更不可能制定统一标准。但在实际工作中,为进行工程地质环境区划,常要求尽可能制定地区性的综合指标及其分级标准。特别是不良地质环境地区,研究综合评价指标很有实用意义。如地震区的“地震刚性” V_p (岩土传播地震纵波速度与岩土密度的乘积,亦称岩土声阻抗);“区域稳定性系数”(R_s = f(Q, K_s, f_v, I_s)式中: Q—山体岩体质量系数, K_s—山体稳定系数, f_v—断层活动速率; I_s—可能最高烈度, 1983年胡海涛提出)。滑坡区的综合评价指标“滑坡趋势”——影响滑坡的各类因素分布区内滑坡出现的相对概率(1977年苏联水文地质工程地质研究所提出);“岩坡失稳系数”——据岩性、岩体结构、地下水作用、工程开挖及其他诱发因素,分别选取不同数值并组合迭加求得(1984年范继舜提出)等等,都是有益的探索。

工程地质环境区划在工程地质环境质量调查、评价基础上进行,按工程地质环境要素的相似性或差异性进行分区。通常划分出适宜、基本适宜、需采取防护措施或重大防护措施和不适宜进行工程建设的不同区、带或区、段单元,为保护和合理利用地质环境提供依据。

按研究区域和比例尺大小不同,工程地质环境区划首先常分为以下两类:第一类是全国性或省、区或较大经济开发区的环境工程地质区划,比例尺一般为1:50万~1:100万,甚至更小(如七十年代末美国地质调查所编制的1:750万比例尺“美国环境工程地质图”)。第二类是为一城市、矿山、水库或交通干线进行的环境工程地质区划,图件一般为中等比例尺,1:20万~1:5万,有时可增大为1:2.5万,是较深入的环境工程地质研究的总结。按研究目的的不同,工程地质环境区划通常也还分为综合性的和专门性的两类。前者为一个区域经济开发和各类建设的综合目的,后一类则主要为某一重大工程项目进行的区划。

总的说来,随着国土整治、经济开发和工程建设事业的日益发展,环境工程地质研究和

区划的重要意义也日益明显。

(二) 工程地质环境质量监测、预报和管理

开展环境工程地质工作的目的在于保持地质环境——工程设施系统内的动态平衡，避免环境恶化，防止或减轻地质灾害，以确保人类安全和工程设施的正常工作。因此，工程地质环境质量的监测、管理，特别是对不良或灾害性地质作用发育强度、速率的监测，亦即，灾害可能发生的时间、空间、强度的预报，实际是环境工程地质研究的中心任务。

对于洪水、地震、火山等巨大自然灾害，各国一般都已有专门机构，负责监测研究和预报。在重点建设地区，许多国家对滑坡、泥石流、岩溶塌陷、河流航道或海岸线变迁和城市地面沉降、矿山地表变形等自然的或人为影响的不良地质现象，现今也已开始进行监测研究工作。近十几年来，由于遥感、电子计算机等新技术的应用，在监测、预报方面且取得了较大进展。如利用卫片研究滑坡、泥石流源的分布及规模，分析定期拍摄的卫片，计算活动速率，进行时、空、强度预报等。但由于这些地质灾害发生的强度、速度或规模都取决于许多因素，特别是有些诱发因素是随机性的，因而，往往对有关地质灾害发生的地点、地区相对较易作出预测，而很难预报发生的时间，更难预报灾害的规模和强度。这类实例极多，如前述，1980年6月3日凌晨，我国鄂西盐池河磷矿山崩滑坡，发生前连日大雨，出现险情，前一天已停止生产进行监测，但因对其规模、强度估计不够，以致山体开始崩滑时，人们都在离开崖下仅二百米左右处仰首观望，结果近300名矿工几乎全部蒙难，被埋于崖下厚40米的崩滑堆积物中。苏联阿拉木图市附近泥石流活动也因预测规模不准确，原设计使用100年的巨大泥石流库，于1973年7月15日一次泥石流而淤满3/4。

为了提高科学预报水平，应在深入调查研究不良地质现象或灾害性地质作用的发育分布规律、发生条件及诱发因素的基础上，大力加强监测研究工作。除设置长期观测标志、仪器进行定期观测外，还必须进行模型模拟试验和数学统计分析工作。

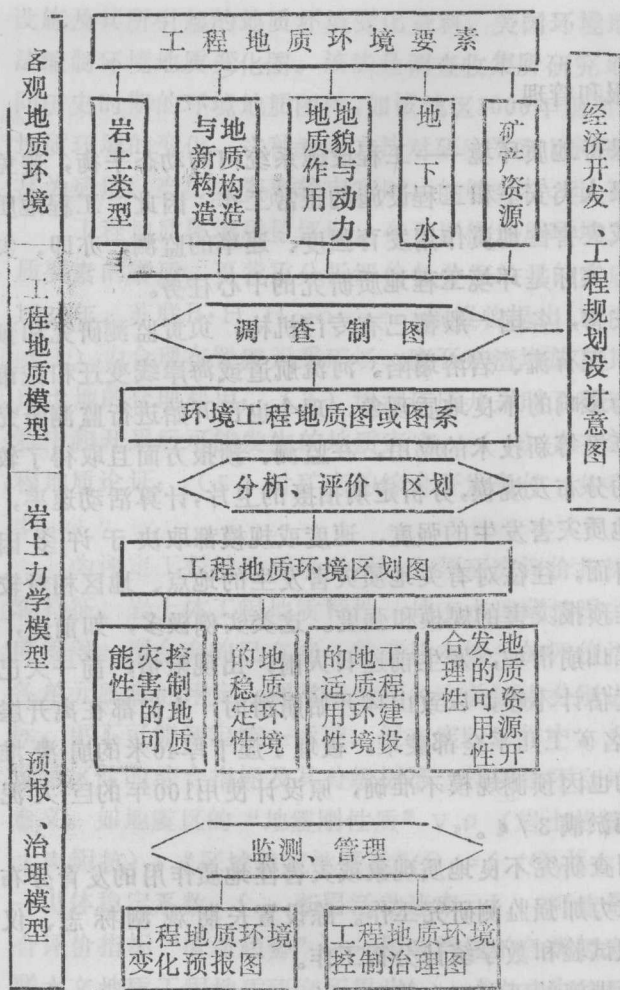
在加强监测、预报工作的同时，防治措施的研究更有着积极的意义。对于不良的地质因素必须加强控制治理，尽可能防止或减轻地质灾害，并逐渐改善地质环境。对于大区域自然地质环境恶化的潜在趋势，如我国华北沙漠化扩展，长江流域内因滥伐滥垦也有可能变成第二条黄河的预兆等等，也必须认真关注，加强自然地质环境管理、保护，防止进一步恶化。我国近年通过的和正拟订的环境保护法、森林法、土地法、水资源法以及矿产资源法等，是以法律形式强制人们遵守执行，以确保自然地质环境得到保护和逐渐改善。

关于工程地质环境质量调查、评价、区划和监测、预报、管理的工作过程，参照M·Matula各种工程地质图件的编制程序，可补充修订如下图式所示。

由上所述也可看出，环境工程地质工作实际是以地质环境——工程设施系统为研究对象，以区域工程地质研究为基础，运用传统工程地质学的理论和方法，深入进行的工程动力地质作用和现象的研究，因此，有的研究者认为，环境工程地质学在某种意义上就是工程动力地质学。

四、环境工程地质学展望

环境问题是人类社会生产力发展到一定阶段的产物，是当代人类与自然界的新的矛盾。



环境工程地质工作程序

同时，又在设计深15公里同类钻孔（西德）。每年从地下采出矿石、岩石共约1000亿吨，石油、天然气、地下水也数十亿、数百亿吨。工程建筑物的规模也急剧增大，高数十层至上百层的高楼已较普遍，并正设想修建层为130~150（高度可达400米以上）、容纳三、五十万人的巨厦。高100~200米以至300米的大坝，库容数十亿以至数百亿的巨大水库也为数不少（全世界库容>1亿米³的大水库估计已超过3000座）。全世界铁路的总长度已达15,000,000公里。日本且已建成长达54公里的海底隧道，连接本州岛和北海道。在大城市、矿山、油田以及巨大水库，深长隧道等大型工程建筑物地区，岩体结构和地下水、地应力以及地热等地球物理场的改变，如前所述，环境问题已日益严重，已普遍出现地区性的不良环境效应。同时有的工程（如大水库）也产生了改善气候、生态环境的良好效应。特别还应指出，人们为整治国土、改造自然，正在设计或兴建的一些宏伟工程，如我国的南水北调工程，苏联、加拿大等的北水南调工程、苏联鄂毕河——中亚运河——叶尼塞河工程，以及兴建白令海峡大坝的设想等等，无疑将影响更大区域甚至产生全球性的环境效应。

总的说来，现今人类活动对地壳作用影响最大的是工程建筑活动。由工程活动破坏地质

而环境科学的出现，标志着人类认识自然、利用和改造自然的能力正在提高到一个新的水平。人们预计，随着人类活动对地质环境影响的进一步加强，到下世纪，地质工作的重点将发生变化。合理利用、保护和改善地质环境，包括合理开发利用矿产资源及能源的调查研究，可能比勘查矿产的意义更为重大。而环境地质研究中首要的即是环境工程地质工作。

实际上，在现今人类对地壳的作用中，规模、强度最大的已是人类的工程建设活动。据统计资料，七十年代初全世界各类工程建筑总面积约占陆地面积的4%，预计到2000年，将占15%。人类作用于地壳的深度，以采矿为例，许多煤矿、金属矿巷道已深达1300~1400米，并以每年3~4米的速度向深处扩展，最深的金矿矿井有的且已超过3800米（印度），甚至达3950米（南非）。露天采矿场最深者已达700~800米，到2000年预计将达1000米。石油钻井深达8000~10000米，专门研究地壳结构的最深钻孔更深，已达12公里（苏联科拉半

环境自然平衡而引起的有害于人类生存和工程建筑物正常使用的地质作用或现象已日益明显和严重。因而，环境工程地质研究不仅在环境地质工作中的地位越来越重要，而且，大大扩展了工程地质学的研究范围。现代工程地质学正从主要对有限场地建筑条件的调查研究，向为解决环境问题以区域地质环境为研究对象的方向发展。正如E. M. Сергеев教授所指出，现阶段工程地质学是关于地质环境的学科，其任务：一是研究大规模综合开发区内地质环境的变化规律，制订合理利用地质环境的基本方案；二是研究“地质环境——工程设施”系统的相互作用。现代工程地质学正向研究人类活动影响下的地壳动力学——环境工程地质学、或者称工程地质环境动力学方向发展。同时，由于大城市、矿山以及巨大水库工程地区人类活动对地壳作用最集中、最强烈，通常是环境工程地质工作的重点地区，因而，环境工程地质学正在孕育城市环境工程地质学（国外也称都市地质学）、矿山环境工程地质学、国土整治环境工程地质学、河口海湾环境工程地质学以及灾害地质学等分支学科。

主要参考文献

- 1、刘国昌：中国环境工程地质问题，1982年，内刊
- 2、毛同夏：工程地质发展新方向~环境工程地质《地质科技参考资料》1983年，第三期
- 3、李生林：地质环境的合理利用与保护——2000年中国工程的紧迫课题，1984年第二届全国工程地质大会交流论文
- 4、王思敬：对我国2000年工程地质学的初步展望（同上）
- 5、E. M. Сергеев: Достижения Советской инженерно-геологической Науки за последние годы и задачи на ближайший период
《Инженерная Геология》1981. №1
- 6、E. M. Сергеев, Г. А. Голодковская: Карты изменения геологической среды как основа региональных инженерно-геологических прогнозов
《Вестник МГУ, сер. Геология》1978. № 5
- 7、В. Н. Новожилов: Рациональное использование и охрана геологической среды при разработке месторождений полезных ископаемых
《Инженерная геология》1980. № 5
- 8、M. Matula: Regional Engineering Geological evaluation for planning purpose 《Bulletin of IAEG》1979, №19
- 9、W. R. Dearman, M. Matula: Environmental aspects of Engineering Geological Mapping 《Bulletin of IAEG》1976. №14
- 10、1982.12第四届国际工程地质大会论文集《环境评价和开发的工程地质研究》分集