

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

环境地质工程

——环境地质学与工程的结合

周平根

(地质矿产部环境地质研究所, 北京, 100081)

内容提要 本文就环境地质及环境地质工程的基本涵义, 环境地质工程的特性、内容及分类等进行了探讨。环境地质工程是指防治地质灾害和其他不良的环境地质问题的工程技术体系, 它是以环境地质学为理论基础, 是环境地质学与工程的结合。它不是一项简单的、规范的工程, 而是一项具有公益性、复杂性和综合性特点的系统工程。环境地质工程包括区划与管理, 以及勘测、设计、施工、监测、监理。其中监测和监理贯穿于勘测—设计—施工全过程。文中还提出我国开展环境地质工程对策和建议。

关键词 环境地质 环境地质工程 地质灾害 防治 区划

1 环境地质工程的基本涵义及特性

环境地质学是一门应用地质学, 其每一项研究成果直接关系到人类的生存与发展。它是地质科学和环境科学两者相互渗透、重新组合而形成的一门新兴的学科, 其研究对象是人-地质环境系统。主要研究人类工程经济活动和地质环境相互作用及其发展演化趋势, 核心是研究地质灾害和环境地质问题发生及发展过程及其对人类工程经济活动的影响程度, 提出相应的对策和工程技术措施, 使这种相互作用趋向有利于人类生存和发展。

地质环境, 是指与人类活动密切相关的岩石圈的浅部的地质空间^[1], 其上限是岩石圈表部与大气圈、水圈、生物圈和人类相互作用的界面, 其下限应该是人类工程经济活动和地质环境相互作用、相互影响的最大深度^[2]。地质环境是岩石圈与水圈、大气圈、生物圈之间进行密切的物质和能量的交换的部分。人-地质环境系统是一个复杂巨系统, 它具有整体性、不可逆性、界限性、周期性、进化性和社会性等特性^[3~5]。

环境地质问题(或称地质环境问题)泛指与地质环境密切相关的环境问题。如: 地下水污染、海水入侵等地下水环境问题, 土壤盐碱(渍)化、沼泽化及沙漠化等生态环境地质问题, 与固体废弃物(含放射性废物及生活垃圾)有关的环境地质问题, 与原生地质环境不良引起的地方病, 地震、火山、滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝、地面塌陷、地面沉降等地质灾害。其中, 地质灾害是指对人类生命财产有直接或潜在威胁的地质事件或地质过程, 强调对生命财产的威胁或造成损失^[6,7]。

环境地质学核心是揭示自然地质环境和人类工程经济活动的相互作用及发展演化趋势, 具体为揭示地质灾害和其他环境地质问题发生及发展过程及其对人类工程经济活动的影响

注: 本文为国家自然科学基金重点资助项目(编号 49232050)。

本文 1997 年 5 月收到, 1998 年 1 月改回, 周健编辑。

程度。但认识自然地质环境和人类工程经济活动的相互作用及发展演化趋势之后,如何协调地质环境和人类工程经济活动的关系,使其趋向益化方向,还必须顺应其规律,加以利用或改造,往往需要采用配套的(综合的)工程技术和方法措施才能达到,主要有土木工程、岩土工程技术、材料科学、化学工程、生物工程、机械工程和人工智能技术等,以发展、完善有效地防治地质灾害和其他不良的环境地质问题工程技术体系。因此,环境地质工程(Enviromental Geo-engineering)应运而生,它是环境地质研究的深化和环境地质学向工程应用(产业化)的延伸,它是在环境地质问题机制研究和环境评价、规划的基础上,为改善地质环境质量所实施的工程技术体系。国内还有的称之为地质环境工程^{[8]①②}和环境岩土工程^[9~11]。地质环境工程可以包含更广泛的内容,如地质资源-矿产资源、能源等的开发利用,环境岩土工程限于土木工程中有关岩土的环境问题,国外环境岩土工程甚至仅限于岩土污染及垃圾卫生填埋。

“环境地质工程”的术语以前也有人提及过,一是指改善和优化工程地质环境所采取的工程措施^[12],限于工程建设的地质环境这一空间范围;另一是指综合地改造和整治一个地区的地质环境的工程^[13],而没有包含地质灾害的防治。笔者认为,环境地质工程是指防治地质灾害和其他不良的环境地质问题的工程技术体系,它是以环境地质学为理论基础,以改善地质环境质量为目标,针对具体地质灾害和不良的环境地质问题形成、发展和演化的特点(机制),所采用的综合工程技术。

环境地质工程不是一项简单的、规范的工程,而是一项具有复杂性和综合性特点的系统工程,它有广泛的内容、包括各种地质灾害和环境地质问题的防治,需要采用多学科的理论、技术与方法,如环境科学、环境地学、土木工程、材料科学、化学工程、生物工程、机械及医学、信息科学、经济学等^③。环境地质工程是以地质灾害和其他不良的环境地质问题防治为对象,地质灾害和环境地质问题的社会性决定了其防治工程——环境地质工程具有公益性特点,它不是以某一建筑工程为对象,它服务的是灾害和环境问题所涉及的社会群体;它不仅要防治自然地质环境对人类活动的不良影响,还要防治人类活动引起、诱发的环境地质问题,需要政府统一制定有关的政策和法律、法规,规范、约束人类的工程经济活动,统筹防治工程资金和监督工程的实施。

2 环境地质工程内容及分类

2.1 环境地质工程内容

环境地质工程既然是系统工程,它有广泛的内容,包括各种地质灾害和环境地质问题的防治,它也是有层次的和优化要求的。第一层次应该是考虑自然环境和灾害地域特征,研究并制定区域减灾、环境保护的政策和重点,做好环境保护和灾害防治的规划和区划。对地质灾害和环境地质问题严重的地区,采用系统工程的思路和方法,施以多种技术综合地改造和整治这一地区的地质环境,达到减缓、防治地质灾害和不良环境地质问题的目的。第二层次是根据具体灾害和环境问题的机理,选取并开发研究适宜的工程技术体系。并进行优化设计与防治实施。后者可借鉴岩土工程的程序进行,即勘测—设计—施工—监测—监理。其中监测和监理是贯穿于勘测—设计—施工的全过程。

① 张宗祜,袁道先.我国跨世纪的重大地质问题——环境地学的发展前景.地质矿产部科学技术大会主旨发言材料,1995.

② 毛同夏,石宏仁,张丽君等.二十一世纪中国地质环境态势与发展.地质矿产部软科学研究报告,1994.

对具体地质灾害和环境地质问题的防治,需要在前述机制的深入研究上,选定适当的工程技术措施,优化组合,加以防治。在工程技术措施上,充分利用已有的地质工程和环境工程技术,并因地制宜、结合具体灾害和环境问题的机理,应用先进的人工智能、机械电子技术和材料科学技术,开发适宜的环境地质工程技术。

国外,尤其是欧美国家对垃圾及有害固体废弃物的环境地质工程开展了系统研究,形成了自己的技术体系^[14]。如卫生填埋的环境地质工程,已形成一整套科学选址、防渗设计、结构体设计、废气和废液的集排系统和处置系统、以及监测技术网络等组成的配套的环境地质工程技术,详见后述。我国地震灾害的减灾正在形成监测、预报、抗震、防震、救灾和灾后重建等六大措施的整体减灾效能^[15]的减灾系统工程。

我国对地质灾害的治理,正在逐步完善其环境地质工程体系,对工程实施勘测—设计—施工—监测—监理的完整程序。对不同的地质灾害所采用的工程技术措施及其组合也不同。地质灾害防治的基本方法包括:①挖(挖方)、②填(填土)、③排(排水)、④堵、⑤喷(化学喷注浆)、⑥锚、⑦墩、⑧桩、⑨墙、⑩幕(阻水帷幕)、⑪键等^[16],而每一种方法又包含许多具体的工程技术。对不同地质灾害,可采用不同的组合,在具体设计施工中,要在监测反馈控制下,实现防治工程的优化。不同地质灾害类型,一般综合治理方案如下:

滑坡综合治理方案=①+②+③+⑥+⑦+⑧+⑨+⑪

崩塌综合治理方案=①+③+⑤+⑥

泥石流综合治理方案=③+④+⑨+⑩

岩溶塌陷综合治理方案=②+③+④+⑩。

2.2 环境地质工程的分类

环境地质工程以往主要是从地质环境工程^{[8]①②}或环境岩土工程^[9,11]角度进行分类,前者所列举的类型大部分是环境地质工程,且主要基于地质灾害和环境地质问题的类型划分。也有把与地下水有关的环境问题防治和地下水合理开发利用统称为“地下水环境工程”^[17]。环境地质工程分类从不同角度出发有不同的分类系统:①按防治地质灾害和环境地质问题的性质划分,地下水环境工程,生态环境地质问题防治,与固体废弃物(含放射性废物及生活垃圾)有关的环境地质问题防治,与原生地质环境不良引起的地方病防治,以及地质灾害的减灾防灾工程等。②按地质灾害和环境地质问题的成因可分为^[18]:a. 自然动力作用类型,b. 人为动力作用类型,c. 自然与人为作用综合类型;a 又可分为内动力和外动力作用亚类;b、c 又可根据人类工程经济活动方式划分(为水利水电工程、道路工程、建筑工程及采矿工程等);③按地质灾害和环境地质问题的空间分布范围可划分区域性的(如沙漠化、荒漠化、悬河灾害的防治)、地段性的(如采空区塌陷、水库塌岸等)和场地的(工程场地的边坡失稳、沉降防治)。考虑到环境地质工程的特点和与以往工作的连续性,建议采用第一种分类方案(表1)。

3 环境地质工程规划、区划与管理

3.1 综合区划

由于自然灾害展布和自然环境的地域特征,减灾措施也具有地域性分布特点。根据中国地

① 张宗祜,袁道先.我国跨世纪的重大地学问题——环境地学的发展前景.地质矿产部科学技术大会主旨发言材料,1995.

② 毛同夏,石宏仁,张丽君等.二十一世纪中国地质环境态势与发展.地质矿产部软科学研究报告,1994.

质灾害及环境地质问题的发育分布特点,可以概略进行环境地质工程区划(图 1)。在中国东部地区(I区)应加强地面变形地质灾害、地下水污染、海水入侵、海平面上升和淤积等的防治,一些地面沉降严重的城市应进一步严格控制地下水的开采;在中国的中部地区(Ⅱ区)应大力加

表 1 环境地质工程分类

Table 1 Classification of Environmental Geological Engineering

类	亚类
地下水环境工程	地下水污染防治、海水入侵防治、水质净化工程等
生态环境地质工程	土壤盐碱(渍)化、沼泽化、沙漠化及荒漠化防治
医学环境地质工程	与原生地质环境不良引起的地方病,氡危害等防治
固体废弃物地质处置工程	放射性固体废弃物的地质处置工程和生活垃圾的卫生填埋工程
地质灾害减灾防灾工程	地震、火山、滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝、地面塌陷、地面沉降等地质灾害防治工程

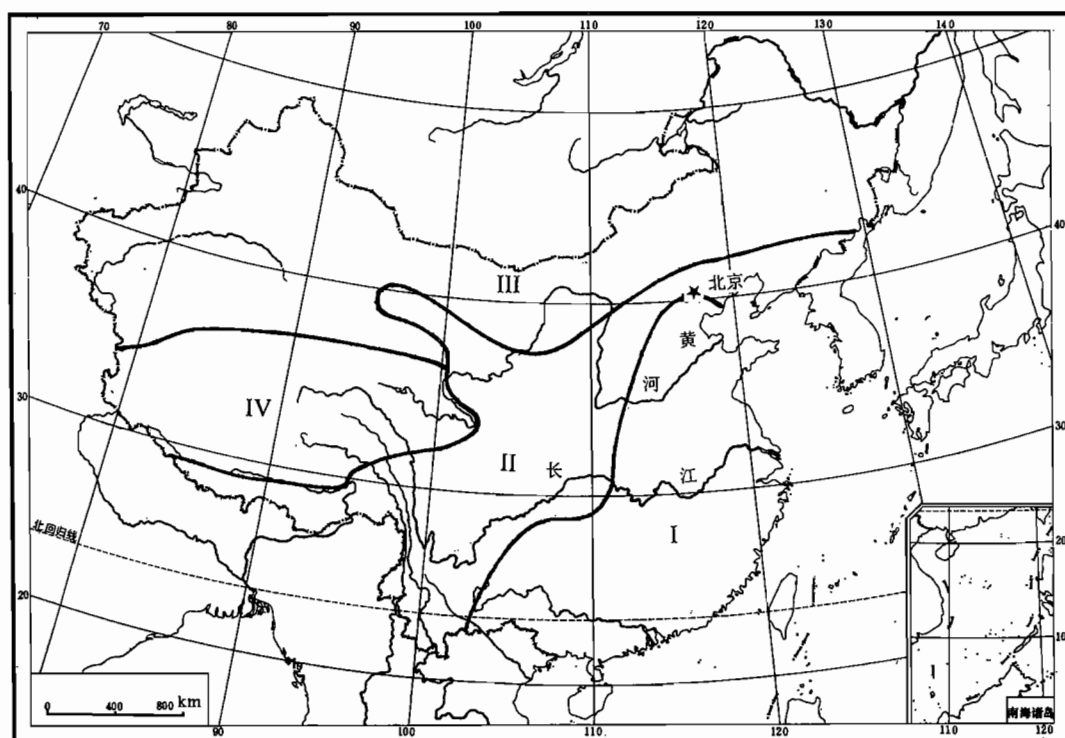


图 1 中国环境地质工程区划(据葛中远等^[18]修改)

Fig. 1 The comprehension zoning of environmental geological engineering

(modified from Ge Zhongyuan et al. ^[18])

I—中国东部地区,以地面变形地质灾害、地下水污染、海水入侵、海平面上升和淤积等为主的防治区;Ⅱ—中国的中部地区,以滑坡、泥石流、崩塌等山地灾害为主的防治区;Ⅲ—中国的北部地区,位于长城—昆仑山以北,以土壤盐碱(渍)化、沼泽化、沙漠化及荒漠化为主的防治区;Ⅳ—青藏高原地区,以冻融、滑坡、泥石流、崩塌等灾害为主的防治区

I—The eastern China, the zone dominated by ground subsidence, ground water pollution, sea water intrusion; Ⅱ—the middle China, the zone dominated by landslide, rockfall and debrisflow; Ⅲ—the northern China, the zone dominated by soil salinization, desertification; Ⅳ—the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau, the zone dominated by freezing-melting, landslide, rockfall and debrisflow

强滑坡、泥石流、崩塌等山地灾害的防治。在中国的北部地区(Ⅲ区,位于长城—昆仑山以北)加强土壤盐碱(渍)化、沼泽化、沙漠化及荒漠化防治。在青藏高原地区(Ⅳ区)则应以冻融、滑坡、泥石流、崩塌等灾害的防治为主。对自然灾害和环境问题严重的地域应施以多种技术进行综合治理,并建立多层次的自然灾害监测预报信息网络系统。

3.2 专门(项)的区划

针对具体的地质灾害和环境地质问题防治开展的专门区划已经取得了成效。

地震烈度区划和工程抗震小区划已形成我国地震灾害防治的法规性文件,取得了明显的减灾防灾效果。我国已完成基于地震加速度概率评价的第三代地震烈度区划和许多城市及大型工程的工程地震小区划。

日本制定的滑坡等地质灾害防治的动态区划,划出防治的重点地区,并依此布置防治工程。西欧的瑞士、挪威、法国等国也进行了滑坡防治的区划,并作为法规性文件^[19~22]。对滑坡灾害的区划有两种,一种是危险性区划(Hazard Assessment),即通过自然物理系统的研究,预测滑坡易发的地区、地点、甚至强度;一种是危害性区划(也称风险评价,即 Risk Assessment),在危险性区划的基础上,结合经济损失的评估给出滑坡的危害性区划。评价的方法有因子叠加法、概率评价法和在此基础上的 GIS 评价法^[23~25]。

美国采用风险评价方法评价其境内 9 种周期性自然灾害,即滑坡、地震、膨胀土、江河洪水、台风、龙卷风、强风、海啸和风暴潮灾害^[26]。自然灾害风险是自然灾害特性(如灾害的范围和强度)、受灾区特性(如人口、土地利用及建筑物投资模式)和抗灾能力(针对建筑物)的函数。其评价过程及思路对于其他周期性的地质灾害和环境地质问题也是适用的(图 2,图 3)。

3.3 地质灾害和环境地质问题防治的政策和法律、法规

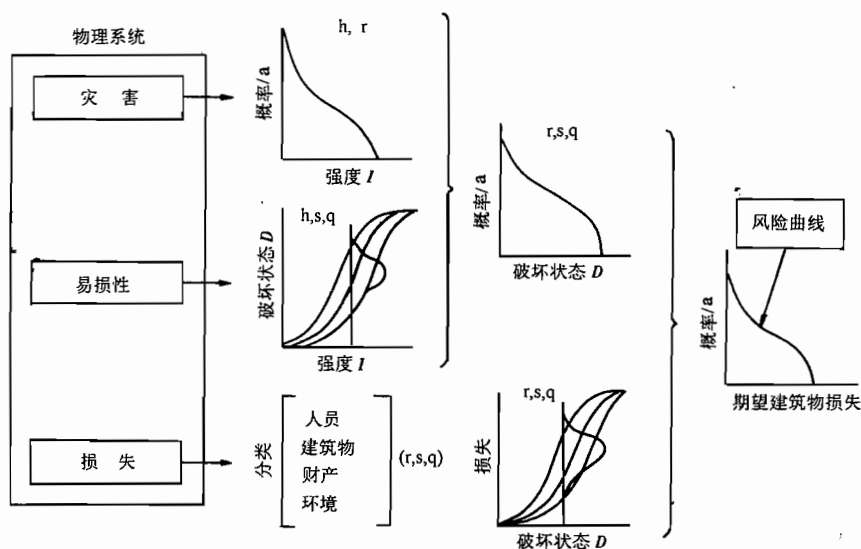


图 2 确定自然灾害风险的一般过程(据 Petak 等^[26])

Fig. 2 The general procedure for determining the natural disaster risk (from Petak et al.^[26])

h—灾害;r—区域;s—结构类型;q—施工质量;I—强度;D—破坏状态
h—Hazard;r—region;s—structure;q—quality;I—intensity;D—destroy

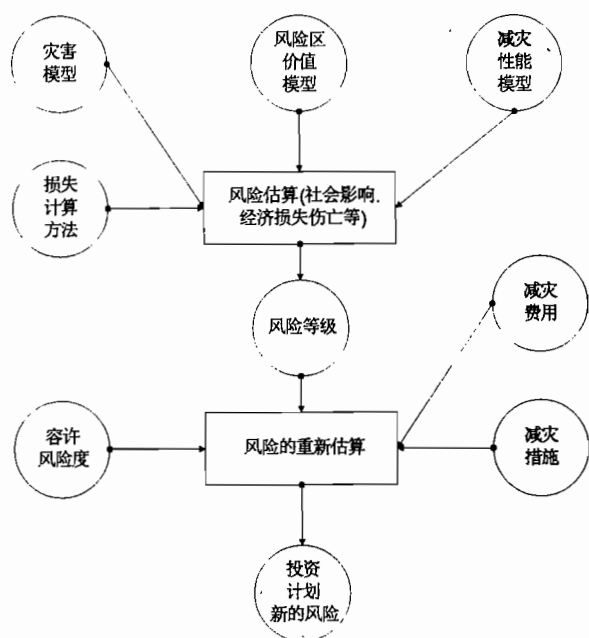


图3 自然灾害风险评价中的决策过程(据 Petak 等^[26])

Fig. 3 The decision-making procedure for the natural disaster risk assessment (from Petak et al. ^[26])

对地质灾害和环境地质问题的防治,应考虑政策和立法因素^[5]。如美国对滑坡地带的修、筑、建提出了有关防治滑坡的法律条款,对水资源和水环境问题也采用了适当的法规和政策^[27~29]。对区域性灾害和环境问题的防治更是如此,以政策和法律规范、约束人类工程及技术经济活动,可以取得防治的成功。如我国华北地区土壤盐渍化和旱涝的综合治理,长江三角洲区域性地下水降落漏斗和地面沉降及其环境效应的防治。

我国对地震灾害已经有专门地震行政主管部门进行减灾防灾管理,形成了较完整的管理体系。而我国地质灾害防治和地质环境保护主要由地质矿产主管部门管理,故通常所指的地质灾害防治没有包括地震灾害,地质灾害防治和地质环境的保护(即环境地质工程)的管理体系(含政策、法律、法规及行政等)还在完善之中。开展环境地质工程研究更显得十

分重要。

4 开展我国环境地质工程的对策和建议

为实现我国环境地质工作由环境地质调查评价向环境地质工程的延伸,实现地质灾害和环境地质问题防治工作的良性循环,发展环境地质工程产业,特提出如下建议:①加强地质灾害防治和地质环境保护区划和规划工作 根据自然灾害展布和自然环境的地域特征,采用风险评价方法做好我国不同地区地质灾害防治和地质环境保护的区划和规划。为我国环境地质工程布局能考虑空间上的针对性和时间上的轻重缓急提供科学依据。②加强地质环境监测预报信息系统建设 地质环境监测预报本身也是地质灾害和不良环境地质问题防治的一种途径,环境地质工程又是一项复杂的、综合的、不规范的工程,它需要完善的监测预报系统来指导环境地质工程的勘查—设计—施工,进行动态的、科学的反馈设计与施工。③开展环境地质工程新技术、新材料研究 对具体灾害和环境问题的治理,充分利用已有的地质工程和环境工程技术,并因地制宜、结合具体灾害和环境问题的机理,应用先进的人工智能、机械电子技术、材料工程、生物工程及化学工程技术等,研究开发适宜的环境地质工程技术体系。④开展重点地区环境地质工程示范工程 选择地质灾害防治和环境地质问题重点地区,开展环境地质工程示范工程研究。如:重大工程(水电工程,核电工程)、城市开发区以及重点矿山开采区,在查清地质灾害防治和环境地质问题的基础上,进行环境地质工程区划,提出防治对策。对不能采取避让的灾害和环境问题,采用综合的环境地质工程技术进行治理。⑤完善地质灾害防治和地质环境保护政策、法律及技术规程 我国对地下水污染、固体废弃物污染已经有相应的法律和法

规,对其他地质灾害和不良环境地质问题防治的法律和法规尚未出台,这些法律和法规的建设正在引起重视。环境地质工程是一项公益事业,需要完善的法律、法规来保障其经费来源和工程的规划、实施。

参 考 文 献

- 1 沈照理,钟佐傑.关于环境地质研究的几个问题.工程地质水文地质环境地质论文集.北京:地震出版社,1993.271~273页.
- 2 张宗祜.地质环境与环境地质.环境地质研究.北京:地震出版社,1991.1~4页.
- 3 陈梦雄.环境地质科学的基本理论与发展前景.工程地质学报,1995,3(4):31~34.
- 4 哈承佑.正确认识地质环境属性—发挥地学在环境保护中的作用.见:工程地质水文地质环境地质论文集.北京:地震出版社,1993.261~270页.
- 5 周平根.从系统观点论环境地质学的研究方法.地学前缘,1996,3(1):35~42.
- 6 刘东生,万国江,李长生.环境地质.见:吴学周主编.中国大百科全书(环境科学).上海:中国大百科全书出版社,1983.
- 7 孙广忠.地质灾害勘察工作中的若干问题.见:地质工程理论与实践.北京:地震出版社,1996.251~254页.
- 8 钟佐.地质环境及其功能的控制与开发.地学前缘,1996,3(1):11~16.
- 9 胡中雄,李向约,方晓阳.环境岩土工程学概论.岩土工程学报,1990,12(1):98~108.
- 10 罗国煜,储同庆.关于两类环境问题研究—21世纪中国东部主要工程地质课题初析.工程地质学报,1995,3(4):19~24.
- 11 林宗元.论岩土工程.见:陈德基主编.工程地质与岩土工程新技术论文集.武汉:中国地质大学出版社,1994.3~10页.
- 12 杜东菊,彭建兵,张俊,李新生,赵瑞斌.试论环境工程地质学的某些基本理论问题及其发展走向.勘察科学技术,1990,(6):37~41.
- 13 胡海涛.开展地质工程防治地质灾害.第四届全国工程地质大会论文集(三).北京:地震出版社,1992.1731~1732页.
- 14 Daniel D E. Geotechnic Practice for Waste Disposal. USA: Chapman & Hall, 1993.
- 15 马宗晋,高庆华.减轻自然灾害系统工程初议.见:环境地质研究.北京:地震出版社,1991.62~68页.
- 16 胡海涛,周平根.论地质灾害与防治.西部探矿工程,1997,(1):1~6.
- 17 汪民,吴永锋.地下水环境工程.地球科学,1994,20(4):465~468.
- 18 葛中远,陈永侠,徐联合.中国地质灾害概述.见:环境地质研究.北京:地震出版社,1991.69~76页.
- 19 Viberg L. Extent and economic significance of landslide in Sweden. In: Brab E E, et al. eds. Landslide: Extent and Economic Significance. Proc. of 28th Inter. Geological Congress, 1988. 141~147.
- 20 Niini H. Landslide in Finland. In: Brab E E, et al. eds. Landslide: Extent and Economic Significance. Proc. of 28th Inter. Geological Congress, 1988. 149~151.
- 21 Gregersen O. Landslide: Extent and economic significance in Sweden. In: Brab E E, et al. eds. Landslide: Extent and Economic Significance. Proc. of 28th Inter. Geological Congress, 1988. 133~139.
- 22 Flageollet J C. Landslide in France: A risk reduced by recent legal provisions. In: Brab E E, et al. eds. Landslide: Extent and Economic Significance. Proc. of 28th Inter. Geological Congress, 1988. 157~167.
- 23 张倬元.国际滑坡研究动态——第六届国际滑坡大会综述.中国地质灾害与防治学报,1984,4(3):96~99.
- 24 Brab E E. Innovative approach to landslide hazard and risk mapping. Proc. of Inter. Congress of Landslide, 1984, 1: 307~323.
- 25 Miller D G. Coupling GIS with physical model to assess deep seated landslide hazards. Environmental & Engineering Geoscience, 1995, 1(3): 263~267.
- 26 Petak W J, Atkisson A A. Natural hazard risk assessment and public policy—Anticipating the unexpected. New York, U. S. A. Springer-Verlag Inc., 1982.
- 27 Keller E A. Environmental Geology (ed. 5). U. S. A. : Merrill Publishing Company, 1988. 477~493.
- 28 Coats D R. Environmental Geology, John Wiley & sons, Inc, 1981.
- 29 Olshansky R B, Rogers J D. Unstable ground—landslide policy in the United States. Ecology Law Quarterly, 1987, 13: 939~1006.

作 者 简 介

周平根,男,1966年生。1985年毕业于长春地质学院(现长春科技大学)水文地质工程地

质系,1988 年在中国地质科学院获理学硕士学位,1997 年在中国科学院地质研究所获理学博士学位。从事地质灾害、工程地质及环境地质研究工作,现任地质矿产部环境地质研究所高级工程师。通讯地址:100081,北京市大慧寺 20 号地质矿产部环境地质研究所。

Environmental Geological Engineering (EGE)

——the Combination of Environmental Geology with Engineering

Zhou Pinggen

(*Institute of Environmental Geology, MGMR, Beijing, 100081*)

Abstract

The concept, properties, contents and classification of Environmental Geological Engineering (EGE) are proposed in this paper. Environmental Geological Engineering (EGE) is the integrated techniques and measures for preventing and controlling geological hazards and geoenvironmental problems. It is the combination of environmental geology with engineering on the basis of environmental geological theories. EGE is benefit-free and characterized by complexity and integrity, so it is not simple and standard engineering but integrated systematic engineering. EGE comprises regionalization, management survey, design, operation, monitoring and supervision. The typical example and strategies of EGE in China have also been proposed in this paper.

Key words: environmental geology; Environmental Geological Engineering (EGE); geological hazards; prevention and controlling; regionalization
