

1009027

国家“九五”重点图书出版规划项目

城市环境 岩土工程

罗国煜 陈新民 李晓昭 阎长虹 编著



序 一

我国的城市建设发展速度很快。预计到 21 世纪中期,我国的城市将由现在的 600 多个增加到 1 000 多个。由于城市人口集中,人们的生活、生产活动比较集中,尤其是工业区的发展,对城市环境的影响作用越来越强。因此,城市形成一个特殊的环境——城市环境。我国自然条件如气候、地形、地质等情况地区差别显著,大多数城市所处的自然条件和地质环境比较复杂。例如人口在 100 万人以上的大城市,其中 70% 位于地震烈度大于 7 度的地区内,大约 30 多个城市出现地面沉降区,还有一些大城市位于塌陷性黄土或胀缩性强的膨胀土地地区、软土地地区和岩溶区。更有一些城市长期处于地震灾害的威胁之中。位于大江、大河两岸的城市经常遭受洪水、河岸失稳等忧患。沿海地带的城市又不能不考虑全球气候变化带来的全球性海平面变化的影响。因此,在 21 世纪中,我国的城市建设和城市经济发展面临着复杂的城市环境问题和各种工程地质问题。诸如:在平原地区的城市常出现的由于过度强烈开采地下水和石油、天然气而引起的地面沉降,位于地下隐伏岩溶发育地区的城市的岩溶塌陷,地下空间开发引起的地面变形等。固体废弃物的堆放,水环境的严重污染,更是现代城市突出的环境问题。平原区高层建筑深基坑边坡稳定以及畔河城市面临的河岸边坡稳定等也都是比较突出的城市环境问题。区域稳定性条件和地震多发区城市抗震问题,对城市来说更是重大的环境问题。

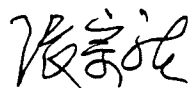
所有上述这些城市环境问题,都直接与城市环境岩土工程有密切关系。

罗国煜教授等人撰写的这本《城市环境岩土工程》一书。是从一个新的科学高度来系统地深入研究这些与城市建设和城市经济发展有密切关系的环境岩土工程问题。把存在于城市环境中的多种岩土工程地质问题进行综合分析,深入揭示这些问题在统一的城市环境中的内在联系、发生发展的规律以及它们对

城市生存环境产生的影响。

这本著作着重指出了对一个城市的生存发展来说,环境岩土工程问题,是与环境污染、生态破坏有同等重要的两类环境问题,应是城建规划不可忽视的重要方面。作者在书中多次指出,由于岩土环境的复杂性和多样性,在城市建设规划评价中对地质作用的分析与岩土工程性质定量评价应当紧密结合,不可偏废。这一指导思想对我国的城建规划设计工作有着十分重要而深远的意义。

应当指出本书中作者以自己多年研究并总结出的“优势面”学术观点为指导,针对多种环境岩土工程问题提出一整套系统的评价方法,对今后城市环境岩土工程评价工作是十分有价值的。



中国科学院院士

中国工程院院士

2000年5月

序 二

岩土工程学科体系的形成,至今不到 30 年。在这个体系形成的过程中,我国土木工程界和工程地质界,特别是地下工程领域的很多名家作出了很多重要的独特的贡献。

罗国煜教授很早就注意到岩土工程这一概念的重要意义,并多次撰文阐明岩土工程的含义以及它与工程地质和地质工程的关系。他认为,工程地质强调认识自然,而涉及对自然的改造不够;地质工程是工程地质的新分支,以地质体改造技术为主;岩土工程则既强调分析评价,又注重决策和行动;环境岩土工程(或环境工程地质)则是工程地质已进入到一个以环境岩土工程和地质灾害研究为特色的新的发展阶段,他明确提出“两类环境问题”的概念,又从全球悬河化的高度提出了“两类悬河问题”,引起了领导和学术界的注意,《科学时报》1999 年 6 月曾做了专门报道。对于环境岩土工程问题,他主张:从预测、决策和行动(处理)的全过程解决问题;服务于国民经济建设,促进学科发展。正是基于对岩土工程学科的深刻认识和正确把握,罗国煜教授把环境岩土工程问题提高到与污染和生态破坏等价的高度来认识,以给予环境岩土工程应有的地位。经过多年的教学、研究和实践,罗国煜教授带领他的学生们,沿着岩土体优势面观点这一学术思路,结合众多工程进行研究探索,成果甚丰,并于最近撰写了这本《城市环境岩土工程》新著。读后感到本书有以下几个突出特点:

其一,以两类环境问题为纲,选取几类典型的城市环境岩土工程问题为研究对象,以优势面理论为基本思路展开研究与讨论。体现了研究的特色和新颖性。

其二,对于所论述的每一类城市环境岩土工程问题,始终强调并采用地质机制分析与定量评价相结合、确定性方法与不确定性方法并举的研究观点和手段。体现了研究方法的系统性、综合性和科学性。

其三, 在环境岩土工程问题的处理上, 既注重基于工程的手段和措施, 更强调地质工程和信息调控的对策和处理。体现了解决问题的全方位和信息时代的特征。

其四, 全球悬河化和两类悬河问题及其研究原则和思路的提出, 为工程地质和岩土工程扩展了新的研究方向, 对当前防洪和河道整治也具有重要的意义。

以上是个人对《城市环境岩土工程》一书的几点看法和认识, 权作序。



中国工程院院士
2000年3月22日

序 三

我国发展中有许多复杂的问题需要解决,而环境问题则是其中一项重大的基本问题。在自然环境的大系统中,岩土环境的研究显得十分薄弱和滞后,这就使决策部门,无法审慎地考虑开发对岩土环境产生的影响后果,因为不适当的决策往往会加剧已经恶化了的岩土环境或产生新的问题。

从全球看,人类长期以来显示出对岩石圈表部的作用,其规模是相当巨大的,常是大范围甚至是区域性的。例如城市的建设和发展,是人类在岩石圈表部最集中活动的地区,在这个地区同时出现各种作用。象工程建筑的基础深度有的可达 30 m 或更深;地下交通可达 150 m 深;矿山地区的坑道深度可达 2 km~3 km。在城市地区,人类活动的作用是在同一范围内、同一时期进行的,既有静力作用,又有动力作用,还有化学作用等等。这些作用都直接影响着、甚至决定着岩石圈表部的动态性质。同时城市建设区内,破坏了气圈与岩石圈之间在这一地区的正常交换过程,导致地表蒸发困难、地下含水量发生变化。因此,城市区岩土环境的研究在整个自然环境的研究中具有极为重要的地位,对城市建设的顺利进行有着重要的意义。

罗国煜教授等人撰写的《城市环境岩土工程》一书,从一个新的高度和视角,对城市建设中所涉及的若干主要环境岩土工程问题进行了深入而系统的分析和研究,得出了许多有益的结论和新认识。表现出了作者对现代科学技术发展趋势的敏锐洞察力以及敢于和善于解决面临问题的勇气。特别值得指出的是,罗国煜教授明确提出了“两类环境问题”的概念,将“环境岩土工程问题”与“污染和生态破坏”这类大家所熟悉的环境问题等价,它不仅大大拓宽了人们的视野,更重要的是,确立了环境岩土工程问题研究的重要地位,这对推动环境岩土工程问题研究的顺利开展,无疑有着重要的意义。在两类环境问题概念的基础上,又将环境岩土工程问题区分为区域性环境岩土工程问题和城市

环境岩土工程问题两种,继而对城市区域稳定性、高层建筑、地下空间开发、边坡开挖及固体废弃物处置和地面变形等重要环境岩土工程问题,以优势面理论为指导展开了全方位的研究和讨论。由于岩土环境的复杂性和多样性,作者多次强调地质机制分析与定量评价相结合、确定性方法与非确定性方法并举的重要性,并将这一思想在书中得到了较好的贯彻和体现。

相信本书必将对环境岩土工程学科的迅速发展和城市建设的有效进行起到积极的推动和指导作用。

王思敬

中国工程院院士
国际工程地质与环境学会理事长

1999年12月

前言

工程地质、岩土工程以研究工程稳定性为主要目标,二者虽各有侧重,但相互结合起来已是一种明显的趋势。本书第一作者罗国煜教授1956年毕业于北京地质学院水文地质工程地质专业,后随前苏联专家学习水电工程地质,80年代又赴美学习和研究岩土工程,所以更能理解和赞同这种结合的必要性和必然性。40多年的教学、研究和工程实践使他认识到,稳定性的原始物理问题主要是断裂(结构面)构造。于是在断裂研究中,为了适应工程和岩土工程设计的需要,首先提出了老、新、活三类断裂的概念;继之,形成了较系统的优势面分析理论观点。优势面分析的基本原理是,在结构控制论和时间因素主导论的基础上,发现在众多结构面中,优势面或优势断裂对区域稳定性和边坡稳定性起控制作用,提出了一系列确定优势面的方法。以优势面组合为区域稳定性和岩体稳定性分析的骨架模型,达到了使地质机制分析与定量评价相结合、定值论与非定值论方法并举的目的。这一优势面分析方法在三峡、黑山峡等水电工程、马鞍山等矿山边坡、地下工程和南京、宁波等城市建设等十几个重要工程中均得到了成功地应用,取得了较显著的成效。

80年代以来,随着城市化、工业化进程的加快,环境问题日益突出。通过黄河下游悬河和城市环境岩土工程问题的研究,罗国煜教授又明确提出了两类环境问题的概念,即认为除了污染和生态破坏这类公认的环境问题之外,还有一类与之等价的环境岩土工程问题——由岩土工程活动产生的环境问题。人们只要去经济开发区和三峡坝库区看一看,就不难理解由工程活动引起的环境问题的重要性和普遍性了。环境岩土工程问题又分为两类,即区域性环境岩土工程问题和城市环境岩土工程问题,前者如黄河悬河问题,后者则正如本书各章节所述的那样,是数量大且分布广的城市环境问题。由于它突出了相关专业的学科地位,扩大了其工作领域和市场占有份额,目前,“两类环境问题”已引起广大地质学和岩土工程工作者的兴趣。另外,从环境高度研究城市、大型水电工程和黄河悬河及洪水悬河问题,使研究目标、研究方法和研究内涵更为丰富。两类环境问题实际已成为我国面向21世纪的重要课题。

城市是经济活动中心和人口集中居住区,环境问题尤其突出和重要。“城市化与灾害”成为1996年“联合国国际减灾十年计划”的主题,这生动地说明城市环境问题,特别是城市环境岩土工程问题研究的重要性和意义。

本书第一作者罗国煜教授自1988年起开始对研究生讲授《城市环境岩土工程》专题课,至今已十余年。国内外对城市环境岩土工程问题也日益关注和重视,同时《城市环境岩土工程》被列选入国家“九五”重点图书出版规划。为了使本书早日为国家建设和人才培养服务,根据罗国煜教授的讲稿,由罗国煜、陈新民、李晓昭 and 阎长虹加工整理而成本书。罗国煜教授对讲稿作了进一步深化和系统化;陈新民博士作了系统组织工作和加工整理;李晓昭博士结合博士后研究对地下工程部分把优势面、优势层概念作了深化;阎长虹博士和李晓昭博士在量化评价方面负责校核和协调。有多年深基坑设计经验的章杨松博士提供了基坑算例。

本书按两类环境问题的概念,针对城市几类主要环境岩土工程问题,以岩土工程优势面理论为基本思路展开研究和讨论,是一本具有自己特色的专著性成果,也是一个新的尝试和

探索,需要不断努力加以完善。由于城市环境岩土工程问题是一个复杂系统,作者认识到应该注意努力反映城市工程地质和岩土工程的最新成果,以便完善学科和教学体系,使之在解决工程问题和培养建设人才方面更好地发挥作用。因而本书与大多数环境岩土工程书籍一样,又具有编著性。通过进一步的工程实践和本书的撰写,作者深信,按全方位论的现代思维原则,岩土工程优势面分析理论在解决复杂的城市环境岩土工程问题中必将有着广阔的发展前景。

优势面分析观点自 80 年代初创以来,经历了近 20 年的研究、应用和发展过程。回顾以往,身为导师的罗国煜教授想指出的是,近 30 名中外研究生都为之付出了努力,作出了贡献。其中,吴恒教授在系统分析、阎长虹博士和徐迎伍博士等在专家系统研制、陈征宙博士在概率分析、刘松玉教授、黄永林博士在区域稳定性分析和地震危险性计算方面、在钱七虎院士的带领下蔡钟业教授把抗爆优势面观点在国防工程应用中作了系统性的发展。这是令人欣慰的,显示了优势面观点及其研究群体的创新活力。这里还要特别指出的是,地球化学研究室储同庆教授将显微构造和包裹体方法引入优势面研究,开辟了微观优势面研究的新方向,对评价工程区域稳定性起了巨大的作用。一些年青学者、工程师用优势面观点写的专著、研究报告和论文也时有所见,使优势面研究组受到激励和鼓舞。

岩土工程优势面分析理论与方法之所以得以发展并不断向新的领域开拓,本书第一作者还要满怀敬意地指出,这与许多国内外著名工程地质、岩土工程专家和前辈的指导、扶持和鼓励是分不开的。他们是地矿部张宗祜院士、胡海涛院士、张倬元教授、张咸恭教授,中科院王思敬院士、孙广忠教授、孙玉科教授,岩土工程界的钱七虎院士、常士骠教授、张苏民教授、林宗元教授、梁炯望教授等。国际著名岩土工程专家、美国的 H. Y. Fang 教授在他 1997 年新著《Introduction to Environmental Geotechnology》一书中,对优势面观点作了详细的介绍。对于他们的热情支持,我们深表谢忱。

罗国煜教授及其优势面研究组还要对南京大学及地球科学系领导,特别是徐克勤院士、郭令智院士、王德滋院士的亲切关怀和帮助表示深切的谢意。南京大学出版社领导对本书的顺利出版付出了巨大的辛劳,也使作者深为感动,特向他们表示诚挚的感谢。

本书涉及城市环境岩土工程诸多复杂问题,由于这些问题牵涉的面广、难度大,加之我们校内外任务也比较重,时间匆忙,书中的缺点错误和不周之处在所难免,热忱欢迎专家和读者多予赐教和指正,以便进一步明确今后修正和努力的方向,使本书能更好地为国家建设和社会服务。

编著者

1999. 1

PREFACE

The main focus of both engineering geology and geotechnology is to study the engineering stability. Although their emphases are different, there is an obvious tendency for them to merge. Professor Luo, the first author of this book, graduated from Beijing Geology Institute in 1956, with a major in hydrogeology and engineering geology. For his post graduate work, he studied hydropower engineering geology under specialists from the former Soviet Union. In the 1980's he conducted extensive research in the area of geotechnical engineering as a visiting professor in Lehigh University, USA. Owing to his expertise in both engineering geology and geotechnology, he strongly believes in the inevitability and necessity of the combination of these two areas. Through teaching, research and engineering practice over the past forty years, Professor Luo has recognized that the underlying physical problem of stability is the fracture structure (i. e. , structural plane). In order to meet the needs of engineering and geotechnical design, he firstly advanced the classification of old, new and active faults and later established a systematic theory of preferred plane analysis. Based on structure control and time dominance, the principle of the preferred plane analysis is to identify, among many structure planes, the preferred plane or the preferred structure that controls the regional stability and slope stability. A series of methods are developed to determine the preferred planes using the so-called preferred index. A frame model based on the combination of preferred planes can then be used to analyze regional stability and rock mass stability leading to the combination of geologic mechanism analysis and quantitative evaluation, as well as the application of deterministic and indeterminate methods. This preferred plane analysis method has successfully applied to hydropower engineering such as in the Three Gorges and the Heishan Gorge, mine slope such as in Ma'anshan, underground engineering and urban development in cities such as Nanjing and Ningbo.

Since the 1980's, the environmental problems have attracted more and more attention as a result of the rapid urbanization and industrialization. Through the research of the suspended Yellow River and urban environmental geotechnology, Professor Luo definitely put forward the concept of two types of environment problems. He holds that in addition to the environment problem of pollution and ecological damage, there is another environment problem of environmental geotechnology induced by the geotechnical activity. So long as one goes to make an observation in the economic development zones and the Three Gorge reservoir site he will easily understand the importance and universality of the

environment problem induced by the engineering activity. Environmental geotechnical problems can be grouped into two types, one being regional environmental geotechnical problems such as the suspended Yellow River and the other urban environmental geotechnical problems such as introduced in this book. The two types of environment problems have aroused the interests of many geologists and geotechnical engineers. From the study of city, large hydropower projects and two types of suspended rivers—the perpetual suspended Yellow River and the flooded suspended Yangzi river—in the view of the high level of environment for a long time, have made the research object, research methods and research connotation more abundant. It is clear that the two types of environment problem of our country is now a hot-focus we are facing in the new century.

Since city is the core of economic activity and the densely residential place, its environment problem is turning particularly striking and important. “Urbanization and disaster” as the theme of IDNDR in 1996 vividly demonstrated the importance and significance of the study of the urban environment problems, especially the urban geotechnical environment problems.

Professor Luo has been lecturing *Urban Environmental Geotechnology* as a special topic for postgraduates since 1988. Nowadays urban environmental geotechnical problems are being paid close attention to at home and abroad. At the same time, *Urban Environmental Geotechnology* is listed in the national key book project of the ninth Five-year plan. In order to have it serve our national construction and talent training earlier, Luo Guoyu, Chen Xinmin, Li Xiaozhao and Yan Changhong rewrote and compiled this book based on the teaching notes of Professor Luo. In the process, Professor Luo Guoyu deepened and systemized his lecture notes; Dr. Chen Xinmin systematically processed and rearranged the manuscript; Dr. Li Xiaozhao deepened the concepts of preferred plane and preferred stratum in underground engineering; Dr. Yan Changhong and Li Xiaozhao coordinated the quantitative evaluation; Dr. Zhang Yangsong provided the calculation examples of foundation pit.

According to the concept of two types of environmental problems, several main environmental geotechnical problems are researched and discussed in this book in terms of the preferred plane theory of geotechnology, making it a new try and have its own distinctive monograph features. As urban environmental geotechnical problems are complex systems, the authors recognize that the latest achievements of urban engineering geology and geotechnology should be reflected in this book to make the discipline and the teaching system perfect and to play a better role in solving engineering problems and training construction talents. Therefore, the other feature of this book lies in its compilation just like many other books of geotechnology. Through further engineering practice and writing of this book, the authors firmly believe that in line with the thinking

principles of all directions the preferred plane analysis theory of geotechnology will unfold a vast and bright future in solving the complicated problems of urban environmental geotechnical problems.

20 years have past since the preferred plane analysis theory was put forward in the early 1980's. Looking back on the past, as a tutor, Professor Luo Guoyu would like to point out that nearly 30 postgraduates have also contributed to the theory. Among them, it should be particularly mentioned that Professor Wu Heng, Dr. Yan Changhong and Xu Yingwu, Dr. Chen Zhengzhou and Professor Liu Songyu, Dr. Huang Yonglin, and Professor Cai Zhongye have made systematic progress respectively in system analysis, expert system development, probabilistic analysis, regional stability analysis and its seismic risk calculation, application of preferred plane theory to army anti-explosion guided by Academician Qian Qihu. All these are gratifying and showing the preferred plane idea and its research group full of creativity. It also should be especially pointed out that Professor Chu Tongqing of geochemical teaching and research section, by introducing the microstructure and mineral inclusions to the preferred plane research, has made a great contribution to regional stability and opened up a new preferred plane research field. We have frequently read some monographs, research reports and papers written in accord with the preferred plane theory by young scholars and engineers. They are helpful for our research and always make our research group excited and inspired.

It should be pointed out that the development of the preferred plane theory of geotechnology has been benefited and instructed by many famous specialists and forerunners, such as Academician Zhang Zonghu, Academician Hu Haitao, Professor Zhang Zhuoyuan, Professor Zhang Xiangong of Geology and Mineral Ministry, Academician Wang Sijing, Professor Sun Guangzhong, Professor Sun Yuke of Academia Sinica, Academician Qian Qihu, Professor Chang Shibiao, Professor Zhang Sumin, Professor Lin Zongyuan and Professor Liang Jiongjun. We are also greatly indebted to Professor H. Y. Fang, the famous American specialist of geotechnology, for his introducing the Preferred plane analysis theory in his new book *Introduction to Environmental Geotechnology* (1997).

Professor Luo Guoyu and his preferred plane theory research group are also grateful to the leaders of Nanjing University and Department of Earth Sciences, in particular Academician Xu Keqin, Academician Guo Lingzhi and Academician Wang Dezi for their support and encouragement. The authors would like to express out appreciation to the leaders and editor Miss Xue Zhihong of Nanjing University Publishing House for their hard work for the book successfully coming out.

Touched upon in this book are many complicated problems of urban environmental geotechnology, which involve a wide range of knowledge and are extremely difficult to

solve. Furthermore, since it is the first time for us to write and compile such a book, there may exist some drawbacks and errors. So any comments, proposals and instructions from specialists and readers are warmly welcomed based on that we will make great efforts to let this book better serve national construction and society.

Thank each of you for your support and help.

Luo Guoyu
Chen Xinmin
Li Xiaozhao
Yang Changhong
1999. 1

目 录

1 城市建设与两类环境问题	1
1.1 城市化与环境	1
1.2 两类环境问题	2
1.2.1 区域性环境岩土工程	2
1.2.2 城市环境岩土工程	2
1.3 城市环境岩土工程基本问题	3
1.3.1 城市建设与岩土环境的相互关系	3
1.3.2 城市环境岩土工程的若干主要问题	4
1.4 城市环境岩土工程问题的研究观点与方法	6
1.4.1 广义系统论思维原则	7
1.4.2 三系统控制论	8
1.4.3 按系统建模与模型化评价	8
1.4.4 反分析法	10
1.4.5 史料分析法	10
参考文献	11
2 城市区域稳定性与抗震防灾研究	13
2.1 研究意义与研究观点	13
2.2 区域稳定性优势面分析基本思路	13
2.3 活动性断裂优势特征研究	15
2.3.1 两类优势断裂	15
2.3.2 活动性断裂判定	16
2.3.3 优势断裂判定	19
2.3.4 组合模式分析与优势段判定	20
2.3.5 显微构造与包裹体研究	21
2.4 区域稳定性评价的内容和原则	25
2.4.1 区域稳定性评价的主要内容	25
2.4.2 区域稳定性评价原则	26
2.5 地震(抗震)评价	26
2.5.1 地质分析	26
2.5.2 烈度法评价	29
2.5.3 地震危险性综合分析	31
2.6 断层错动(抗断)评价	37

2.6.1	断层错动的分析方法	37
2.6.2	断层错动的处理对策	39
2.7	区域稳定性分区	40
2.7.1	分区原则和主要参数	40
2.7.2	场地条件影响的分析	42
2.8	危害度与决策分析	44
2.8.1	震害危害度分析	44
2.8.2	抗震设防与加固决策	46
2.9	南京区域稳定性分析简介	49
2.9.1	南京区域地质和区域优势断裂判定	49
2.9.2	市区工程地质条件与场地结构模型	53
2.9.3	潜在震源区判定	53
2.9.4	地震危险性及土地利用分区	53
2.10	区域稳定性优势面分析专家系统 REPP	56
2.10.1	黄河悬河稳定性评价专家系统 SSRPP 知识库结构	56
2.10.2	REPP 及 SSRPP 系统设计	57
	参考文献	60
3	高层建筑环境岩土工程问题	62
3.1	高层建筑的分类及主要特点	62
3.1.1	高层建筑的分类	62
3.1.2	高层建筑的主要特点	63
3.2	高层建筑岩土工程勘察与测试	67
3.2.1	岩土工程勘察和评价的特殊要求	67
3.2.2	室内试验	68
3.2.3	原位测试	70
3.3	高层建筑地基基础承载力的确定	71
3.3.1	天然地基承载力的确定	71
3.3.2	桩基承载力的确定	81
3.3.3	复合地基承载力的确定	97
3.4	地基基础的沉降分析与计算	98
3.4.1	地基沉降计算	98
3.4.2	桩基沉降计算(预制桩)	105
3.4.3	复合地基沉降计算	106
3.5	地基稳定性概率分析	108
3.5.1	基本概念和基本方程	108
3.5.2	地基沉降的概率计算	110

3.5.3 地基承载力的概率分析	113
3.6 地基液化问题	114
3.6.1 概述	114
3.6.2 砂土液化的一般评价	115
3.6.3 地基液化的概率分析	121
3.6.4 地基液化震陷分析	123
3.7 深基坑开挖与支护的岩土工程问题	126
3.7.1 概述	126
3.7.2 无支护基坑开挖的稳定性问题	128
3.7.3 支护基坑开挖的岩土工程研究	131
3.7.4 深基坑降水问题	163
3.8 高层建筑场地地基综合评价中的若干问题	172
3.8.1 承载力的确定问题	172
3.8.2 沉降计算问题	174
3.8.3 深基坑工程与环境问题	174
3.8.4 软基处理对策	180
3.8.5 施工检验与监测	185
3.8.6 地震影响评价问题	187
参考文献	188
4 地下工程稳定性研究	190
4.1 地下工程概述	190
4.1.1 地下工程的发展及城市地下空间的开发	190
4.1.2 地下工程的工程特点	191
4.1.3 地下工程的学科特点及研究思路	192
4.2 地下工程主要工程地质问题	194
4.2.1 地下工程主要工程地质问题	194
4.2.2 不同类型地下工程的基本特征	198
4.3 影响围岩稳定性的基本因素	201
4.3.1 岩石的强度和流变性	201
4.3.2 岩体的非均一性和结构缺陷	204
4.3.3 地应力	204
4.3.4 地下水	206
4.4 围岩稳定性的地质机制分析	207
4.4.1 软岩与围岩稳定性	207
4.4.2 优势面与围岩稳定性	211
4.4.3 围岩稳定性的宏观地质判断	214

4.5 围岩稳定性的定量评价	216
4.5.1 概述	216
4.5.2 松散地压估算	217
4.5.3 变形地压计算	219
4.5.4 数值分析方法	224
4.5.5 计算参数的获取与反分析技术	237
4.6 围岩稳定性静态与动态专家系统	241
4.6.1 工程岩体分类——静态专家系统	242
4.6.2 工程岩体分级的动态专家系统	250
4.7 地下工程突水的优势面研究	253
4.7.1 地下工程突水问题及其学术新思考	253
4.7.2 地下工程突水问题的优势面分析	253
参考文献	255
5 边坡稳定性与滑坡灾害优势面分析	257
5.1 引论	257
5.1.1 边坡地质灾害的特点及研究任务	257
5.1.2 边坡地质灾害研究的简单历史及主要代表作	258
5.1.3 研究现状与展望	258
5.2 优势面理论的研究思路和基本认识	261
5.2.1 优势面控坡观点	261
5.2.2 优势面减灾防灾原理	262
5.2.3 优势面分析方法	262
5.2.4 优势分离体(优分体)——破坏模式判定	264
5.3 边坡失稳的评价准则	267
5.3.1 定值论	267
5.3.2 概率论	268
5.3.3 运动稳定性准则	268
5.3.4 监测评价	270
5.4 边坡稳定性评价方法	270
5.4.1 地质分析法评价	270
5.4.2 定值论评价	282
5.4.3 非定值论评价——可靠性分析	289
5.4.4 按优势面观点进行二定量模型互补评价思路	297
5.5 危害度与决策分析	301
5.5.1 危害度分析	301
5.5.2 决策分析	301