

岩土力学反演问题的 随机理论与方法

孙 钧 蒋树屏 袁 勇 黄宏伟 著



汕头大学出版社

岩土力学反演问题的 随机理论与方法

孙 钧 蒋树屏 著
袁 勇 黄宏伟

油 头 大 学 出 版 社

1996. 2

、 本书承国家自然科学基金资助研究。

孙钧教授简历



孙 钧，同济大学、汕头大学教授，中国科学院（技术科学部）院士，同济学校务委员、名誉系主任，我国首批博士研究生导师。1926年10月生于苏州，祖籍浙江绍兴。1949年5月上海国立交通大学土木工程系毕业，获工学学士学位。早年在上海交通大学任教，1952年全国院系调整后调至同济大学，历任讲师、副教授，1954~1956年间曾任前苏联专家技术翻译，1979年升任教授。1980~1981年在美国北卡州立大学（N.C.S.U.）任访问教授。曾在同济大学担任教研室主任、系主任和教务处长、校学术委员会副主任等行政职务。现任主要社会学术兼职有：国务院学位委员会土建学科评议组召集人，全国博士后专家委员会成员，中国土木工程学会副理事长，中国岩石力学与工程学会理事长暨国际岩石力学学会中国国家小组主席，国家自然科学基金土建学科评议组召集人，国家自然科学基金评委，长江三峡工程技委会专家，江阴长江公路大桥和北京、上海市地下铁道工程等多处国家重大工程建设项目技术顾问，全国若干所重点大学的名誉教授和顾问教授以及国外一些大学的客座研究员。

孙 钧专长岩土力学、工程结构和地下工程，是国内外各该学科领域的著名学者和专家，是地下结构工程力学科学研究的开拓者之一。长期以来，他结合承担国家重大工程建设项目、国家自然科学基金和重点科技攻关任务，从事上述学科领域的前沿研究工作，在发展岩土流变力学、结构粘弹塑性理论和防护工程抗爆动力学等方面，做出了令人瞩目的成就。已出版学术专著5部、发表学术论文和研究试验报告120余篇。曾获国家和部委级科技进步一、二等奖6项，三等奖3项，由国外颁发的基金一等奖1项，连同其它奖励合共20余项。经部级专家评审或技术鉴定认定，其许多研究成果达到了国际先进水平或居国内领先地位。

前 言

岩土力学是一门既富理论内涵而又应用性很强的工程力学学科。近年来,经不断汲取其它学科的新思想和新观念,它有了很大的发展和完善。岩土力学反演分析方法也正是引入了系统论的概念和原理而派生的新的学科分支,它自70年代末提出以来进步很快并正日趋成熟。但是,现有各种反演分析方法多只局限于确定性逆问题的求解,即把岩土介质体在初始地应力和后续开挖荷载作用下的变形历程及其力学状态转换视为静止的、确定性的过程作简化处理;大量岩土工程的实践表明,采用随机性、离散性(还包含有主观上的模糊性和不确定因素)很强的位移信息而用确定性模型参数反演表征的岩土地层特性,与实际测试结果比较将有较大出入。众所周知,岩土地层的变形是一种典型的非确定性过程,进一步的工作应谋求借用随机系统论的方法来建立岩土力学与工程问题反演分析的随机理论。这方面的内容将在本书中作比较系统的论述。

本书为国家自然科学基金资助项目的研究总结。书中综合了我们在岩土力学随机反演分析方面的若干最新研究成果。本书将岩土工程系统不确定性因素的来源划分为观测工作中的不确定性和岩土介质系统自身固有的不确定性两个方面,分别展开了较为详细、系统的研讨。此外,还论述了洞室围岩变形的随机预报问题。

据“参加1994年在智利召开的国际岩石力学学会年会情况”的报道(见《岩石力学与工程学报》,1994年13卷2期,第190—191页)指出:“……当前岩石力学的数值分析,……从基本上看,仍多属于确定性计算模型,求得的解是确切的定值。由于岩体存在大量的不确定信息,确定性模型不足以概括如此复杂多变的岩石力学特征。近年来,国外岩石力学界的许多学者已日益关注非确定性模型(Non-deterministic model)的研究。在这次年会上,世界知名学者诸如麻省理工的Einstein教授和加拿大的Hoek教授都分别在其特邀的专题报告中着重讲述了这方面的问題。前者,提出了分析岩体及计算工作中分别存在的客观和主观不确定性(按,即指随机性和模糊性);而后者,则研究了岩石工程的随机分析及其可靠度问題……。”因之,本书所论述的岩土力学随机理论与方法,其重要性得到了国际学术界的公认,从上述最新报道中已可见一斑。

全书内容由学术负责人、中科院院士孙钧教授统稿、修改和审定。全书由相对独立的三篇所组成:第一篇由副教授袁勇博士执笔。在第一篇中系统阐述了岩土力学与工程逆问题的建模原理与方法,包括处理观测中不确定性的强壮性最优目标函数,以及模型的不确定性与最佳信息准则目标函数等方面的问题。第二篇由副教授黄宏伟博士执笔。在第二篇中着重讨论了洞室围岩变形随机预报的原理和方法,包括洞室围岩稳定的可靠性评价,以及循环更新监测技术的采用。第三篇由副研究员蒋树屏博士执笔。在第

三篇中较深入地探讨了地下洞室围岩的非确定性非线性动态问题，开拓了采用扩张卡尔曼滤波器 (Kalman Filter) —有限元法的基本原理和方法，及其在围岩变形时间历程和最终塑性区估计中的应用等方面。书中还附有针对水电、矿山地下工程和公路隧道等几方面的工程应用实例，以及相应的三个计算程序。相信本书对各类岩土工程，包括从事水电、矿山和铁（公）路隧道与城市地下铁道、国防和人防工程以及从事边坡和岩基等方面工作的科学工作者、高校教师、研究生和岩土工程技术人员都有相当的参考使用价值。

当然，岩土力学与工程方面的随机反演分析工作还刚刚起步，必定有许多有待深化研究和完善的问题，希望本书的问世能对这一学科分枝领域的学术探讨及其工程应用起到应有的促进作用。本书容多不当之处，盼请读者不吝赐正。

作者谨识

1995年元旦

目 录

第一篇 岩土力学与工程逆问题的系统建模原理和方法

第一章 绪 论	(3)
§ 1.1 问题的提出	(3)
§ 1.2 文献评述	(3)
1.2.1 系统辨识理论发展概况及研究现状	(3)
1.2.2 岩土工程逆问题研究现状简述	(4)
§ 1.3 本篇内容和主要观点	(5)
第二章 系统建模方法理论	(7)
§ 2.1 概述	(7)
2.1.1 系统辨识定义	(7)
2.1.2 建模过程的信息源	(7)
2.1.3 能观性与能控性概念	(7)
2.1.4 系统研究中的基本假定	(8)
2.1.5 系统的表述水平	(8)
2.1.6 系统的形式化数学模型	(9)
2.1.7 系统辨识建模研究途径	(9)
2.1.8 小结	(10)
§ 2.2 系统模型类型	(11)
2.2.1 分类方式	(11)
2.2.2 偏微分方程系统 PDESS 的模型表达	(12)
§ 2.3 系统辨识研究方法	(13)
2.3.1 结构特征化	(13)
2.3.2 参数估计	(14)
2.3.3 模型可信性和模型检验	(14)
§ 2.4 系统建模方式研究过程框图	(15)
第三章 视分布参数的岩土介质系统	(16)
§ 3.1 分布参数系统的偏微分方程描述	(16)
3.1.1 岩土工程系统逆问题的提法	(16)
3.1.2 连续介质力学的基本方程	(16)
§ 3.2 岩土介质系统逆问题的焦点	(18)
3.2.1 岩土介质本构关系研究现状	(18)

3.2.2	弹塑性本构关系的一般表述	(18)
3.2.3	统一形式的屈服函数	(19)
§ 3.3	分布参数模型结构特征化的决策方法	(20)
第四章	岩土工程系统辨识理论	(22)
§ 4.1	分布参数模型的离散化及观测方程的构造	(22)
§ 4.2	参数的最佳估计原理	(23)
4.2.1	系统可辨识性	(23)
4.2.2	目标函数的形式	(24)
4.2.3	目标函数极值的优化搜索	(29)
4.2.4	解的存在性及数值证明	(31)
4.2.5	优化程序框图	(32)
§ 4.3	最佳模型判别决策的模式识别器	(33)
4.3.1	模式识别器的构成	(33)
4.3.2	最佳模型原则	(33)
§ 4.4	特征参数向量和特性抽取	(34)
§ 4.5	最优判决准则	(34)
4.5.1	决策的信息论方法	(34)
4.5.2	决策判别器	(36)
§ 4.6	多种介质材料不同本构模式的分类	(36)
4.6.1	模式类别可分性的测度	(36)
4.6.2	模式聚类分析算法	(37)
§ 4.7	检验方法	(38)
§ 4.8	最优识别分类总框图	(40)
第五章	工程应用研究	(41)
§ 5.1	平面应变弹塑性矩阵及待识别的参数向量	(41)
§ 5.2	天生桥一级电站现场开挖试验	(43)
5.2.1	工程简况	(43)
5.2.2	试验洞室工程地质条件	(43)
5.2.3	量测方案布置和洞室开挖方式	(44)
5.2.4	位移量测仪器埋设	(44)
5.2.5	位移量测结果及初步评价	(46)
§ 5.3	弹塑性本构模型屈服模式的识别	(46)
5.3.1	屈服模式特征参数识别	(48)
5.3.2	量测方案布置及算法的稳定性	(50)
5.3.3	特征向量初始点与搜索迭代次数的关系	(50)
§ 5.4	可信性检验与分析	(52)
§ 5.5	小结	(53)
第六章	结论和有待进一步研究的问题	(54)

附录 1. A 无偏估计量的方差的下限	(56)
附录 1. B 连续性随机变量的熵及性质	(58)
附录 2 计算程序标识说明及程序文本	(59)
参考文献	(70)

第二篇 岩体变形随机预报理论及其工程应用

第一章 绪论	(79)
§ 1.1 引言	(79)
§ 1.2 文献述评及国内外研究现状	(80)
1.2.1 现场观测、经验回归与类比预报方法	(80)
1.2.2 变形物理机制预报方法	(82)
1.2.3 围岩系统变形过程模型预报方法	(83)
1.2.4 基于数值方法的预报	(86)
1.2.5 基于室内试验的变形预报	(88)
1.2.6 反分析预报变形	(88)
1.2.7 综合预报法	(95)
§ 1.3 课题的进一步提出	(96)
§ 1.4 本篇的研究观点、思路及主要工作	(98)
第二章 变形量测时间序列特征分析	(101)
§ 2.1 引言	(101)
§ 2.2 量测位移时间序列的自相关系数	(101)
§ 2.3 量测位移时间序列的自相关分析及其特征	(103)
§ 2.4 非平稳位移时间序列特征分析	(104)
第三章 围岩预报系统及其变形随机预报模型	(106)
§ 3.1 围岩预报系统	(106)
§ 3.2 围岩预报系统的不确定性及其状态变量	(106)
§ 3.3 变形的影响因素及机理分析	(108)
3.3.1 岩体的性质	(109)
3.3.2 初始地应力状态	(109)
3.3.3 工作面推进引起的空间效应	(109)
3.3.4 开挖断面的大小及形状	(109)
3.3.5 支护结构的性态	(109)
§ 3.4 变形的依时性概率分布	(110)
§ 3.5 变形的微观随机模型	(113)
§ 3.6 变形的宏观随机模型	(116)
§ 3.7 变形微观——宏观随机预报模型的统一及变形过程的解释	(118)
3.7.1 迁移过程——确定性预报模型	(119)

3.7.2	扩散过程	(120)
3.7.3	跳跃过程	(120)
3.7.4	一般过程	(120)
第四章	岩体变形的确定性动态过程预报	(122)
§ 4.1	引言	(122)
§ 4.2	变形的确定性动态方程	(122)
§ 4.3	变形的确定性预报	(124)
§ 4.4	灰色动态预报	(126)
第五章	岩体变形的随机预报	(128)
§ 5.1	引言	(128)
§ 5.2	变形线性情况下的随机预报	(128)
§ 5.3	变形非线性情况下的随机预报	(131)
§ 5.4	变形随机预报与其确定性预报的关系	(132)
§ 5.5	预报方程的参数估计及预报公式的建立	(133)
§ 5.6	变形的概率预报与算例	(138)
第六章	基于 Bayes 的广义参数反分析	(141)
§ 6.1	引言	(141)
§ 6.2	Bayes 反分析原理	(142)
§ 6.3	基于 Bayes 考虑载荷、变形不确定性的广义参数反分析	(143)
§ 6.4	广义参数反分析的优化问题描述及其优化实施	(148)
§ 6.5	实例分析及讨论	(150)
第七章	基于随机有限元的参数随机逆反分析	(155)
§ 7.1	引言	(155)
§ 7.2	随机有限元的逆反分析	(155)
§ 7.3	随机参数的特征函数法分析	(159)
§ 7.4	实例计算比较与讨论	(160)
第八章	变形随机预报理论的工程应用	(164)
§ 8.1	引言	(164)
§ 8.2	围岩变形稳定的概率预报及支护结构的可靠度设计	(164)
§ 8.3	围岩稳定性的概率预报监控技术	(166)
第九章	工程实例应用研究	(169)
§ 9.1	天生桥一级电站试验洞工程概况	(169)
9.1.1	天生桥一级电站工程简介	(169)
9.1.2	试验洞工程地质情况	(169)
9.1.3	试验洞量测及布置	(170)
9.1.4	试验结果及其评价	(170)
§ 9.2	试验洞围岩特征参数反分析及其稳定性分析	(172)
§ 9.3	内蒙平庄红庙矿排风巷道工程概况	(174)

9.3.1 工程简介	(174)
9.3.2 量测方案布置及方法	(174)
§ 9.4 巷道变形量测与预报	(175)
§ 9.5 巷道围岩特征参数反分析及其稳定性分析	(175)
第十章 结论与讨论	(178)
§ 10.1 本篇主要结论与成果	(178)
§ 10.2 有待进一步研究的内容	(180)
附录 程序及主要变量标识符说明	(181)
参考文献	(220)

第三篇 用扩张卡尔曼滤波器有限元法反分析 地下洞室围岩非确定性动态的研究

第一章 绪论	(233)
§ 1.1 引言	(233)
§ 1.2 文献述评	(233)
1.2.1 确定性反分析的研究	(234)
1.2.2 非确定性反分析的研究	(238)
§ 1.3 本篇研究的目的和主要内容	(240)
§ 1.4 本篇研究的两点说明	(242)
第二章 随机过程与随机系统分析	(243)
§ 2.1 随机过程描述	(243)
§ 2.2 线性随机系统分析	(250)
§ 2.3 非线性随机系统分析	(257)
§ 2.4 小结	(262)
第三章 最优估计的几种形式及其分析	(264)
§ 3.1 Bayes 估计	(264)
§ 3.2 最小均方误差估计	(266)
§ 3.3 多变量高斯分布情况的最优估计	(268)
§ 3.4 正交投影分析	(269)
§ 3.5 小结	(272)
第四章 卡尔曼滤波器设计	(273)
§ 4.1 引言	(273)
§ 4.2 离散时间卡尔曼滤波器	(274)
§ 4.3 新息法及序贯处理	(280)
§ 4.4 滤波器渐近性态	(285)
§ 4.5 U—D 协方差分解滤波算法	(286)
§ 4.6 非线性离散时间卡尔曼滤波器设计	(289)

4.6.1	非线性滤波精确解形式	(290)
4.6.2	二阶矩滤波近似解	(294)
4.6.3	扩张卡尔曼滤波器及一阶近似	(300)
§ 4.7	小结	(302)
第五章	反分析中的扩张卡尔曼滤波器与有限元分析耦合问题及算法	(304)
§ 5.1	引言	(304)
§ 5.2	基于有限元法的反分析	(305)
5.2.1	关于本构模型的思考	(305)
5.2.2	弹性位移反分析	(307)
5.2.3	考虑体积应变的非弹性位移反分析	(310)
§ 5.3	扩张卡尔曼滤波器有限元算法模型的建立	(313)
§ 5.4	模型验证	(318)
5.4.1	验证算例	(318)
5.4.2	若干考察	(322)
§ 5.5	最终位移的预测	(325)
5.5.1	最终初始应力参数的预测方法	(325)
5.5.2	预测系数 C 的讨论	(328)
§ 5.6	小结	(332)
第六章	对围岩稳定分析中几个问题的探讨	(335)
§ 6.1	围岩稳定的变形能量分析	(335)
6.1.1	开挖前围岩体内的形状弹性变形能	(335)
6.1.2	洞室开挖后的形状弹性变形能与围岩的稳定性	(336)
6.1.3	由喷射混凝土产生的约束围岩形状弹性变形能	(338)
6.1.4	由锚杆产生的约束围岩形状弹性变形能	(345)
§ 6.2	围岩塑性区历时变化	(350)
6.2.1	确定性围岩塑性区域推定	(350)
6.2.2	非确定性围岩塑性区域推定	(355)
§ 6.3	小结	(360)
第七章	现场围岩监测与计算实例分析	(361)
§ 7.1	现场围岩监测	(361)
7.1.1	量测计划	(361)
7.1.2	数据整理及分析	(362)
§ 7.2	扩张卡尔曼滤波器有限元法算法模型计算实例	(365)
7.2.1	初始条件的讨论	(365)
7.2.2	初始应力参数计算分析	(366)
7.2.3	参数预测计算	(369)
7.2.4	围岩最大剪应变分布及塑性区估计的历时变化分析	(371)
§ 7.3	小结	(375)

第八章 结论.....	(376)
§ 8.1 本篇研究的主要结论	(376)
§ 8.2 今后的课题	(378)
附录 3. A 扩散过程及扩散方程	(379)
附录 3. B 未知位移 u_2 的计算步骤	(381)
附录 3. C 观测量数据及量测频率	(383)
附录 3. D 回归分析计算	(383)
附录 3. E 圆形隧道周边位移场、位移场的函数表达式	(387)
附录 3. F 临界应变与抗压强度的关系	(388)
附录 3. G 等参元数学表达式	(389)
附录 3. H 计算程序标识说明及程序文本	(392)
参考文献	(437)

第一篇

岩土力学与工程逆问题的
系统建模原理和方法

第一章 绪 论

§ 1.1 问题的提出

在设计岩土工程结构时,往往要求确定相应岩土介质体的数学物理描述模型,以便恰当地描述和预测在工程施工和运行期间岩土体的行为(如变形量和稳定性等)。甚至对其行为进行控制干预(如隧洞的支护控制)以达到要求的目的。

随着人们对物理现象认识的深入,岩土力学从基于刚体力学的极限平衡理论发展到以连续介质力学为基础的弹性、弹塑性或粘弹塑性理论,进而进步到正在研究中的各种非连续介质力学方法。在这过程中,为着各自的认识水平和目的建立了各种各样的数学模型来描述岩土介质系统在外界环境条件介入时的系统响应(如应力分布状态、变形性状等)因素。

由于以往岩土力学的工作大都基于室内小试样测试,或与局部的、有限的现场试验成果相类比,其结果显然是不充分的,同时有较大的随意性,很难设想可以得出恰当表征整个岩土系统行为特征的模型,以致无法达到准确地设计、预测和合理施工的目标。基于这一认识和现代控制理论及数值计算技术的发展,70年代末,岩土工程领域提出了现场位移量测反演分析方法(位移反分析),在假定已知岩土介质体材料本构关系的条件下,通过量测现场位移值,在一定的准则条件下估计出材料参数或初始地应力场。由此可见,材料本构模型选择正确与否起着关键性的作用。

此外,为了预测和施工监控的目的,还提出了以灰色理论为基础的预测模型建模方法和基于统计推断理论的时间序列建模方法。但这两种方法都没有考虑导致岩土介质系统产生外部响应的内部机制,对于工程设计的指导意义而言无疑是项缺憾。

因此,本篇从系统论的观点出发,本着建立以指导设计和监控预测为目的的模型,用系统辨识理论的观点着重论述以连续介质力学为基础的分布参数系统——椭圆形偏微分方程系统(PDESS)——的建模方法,结合运用信息论、最优控制论、决策论以及模式识别技术,对岩土介质系统物理本构关系的反演建模、模型参数估计、模型可信度分析和模型鉴别检验理论进行了较深入的研究,并将之应用于工程实际问题。

§ 1.2 文献评述

1.2.1 系统辨识理论发展概况及研究现状

系统辨识是近代系统理论的一个分支,是自60年代以来开始迅速发展起来的一门综合性很强的交叉学科。1960年在莫斯科召开的国际自动控制联合会学术会议上,相对只

有少数几篇文章涉及系统辨识和参数估计问题。此后,由于工程上广泛地设计并应用了各种自动控制系统,控制质量有了很大提高,同时控制理论亦发展到了很高的水平,经典的控制概念被更有前途的现代控制理论所超越;同一时期,计算机的应用也愈加广泛。值得提出的问题是,现代控制理论是以掌握被控对象的数学模型为前提的,然而对如何获得这些模型的研究却不象控制理论那样有同步的进展。为弥补这个差距,系统辨识理论——用实验取得的输入输出数据建立研究对象的数学模型——便得到重视和发展。自此,有关系统辨识的理论和应用的讨论日益增多,涉及的领域也更加广泛^[1]。目前,国内外都有一些专著介绍这个应用领域非常广泛的学科^[2~9]。

一般认为,系统辨识理论对于集中参数系统中单变量线性系统的辨识理论和方法已接近成熟,但对多变量系统的辨识,尤其是其结构辨识尚处于发展状态,为寻找其结构探讨了多种途径,目前大多采用某种规范的表达式;在非线性系统的辨识方面采用 Volterra 函数级数可对一类相当广泛的非线性过程给出一般的表达形式,利用 Rajbman 的弥散函数法亦可有效地辨识非线性系统的非常数模型。与线性系统相比,要求被辨识过程有相当充分的先验信息, Iva-khnenko^[7]提出了一种据称不需要任何先验信息的 GMDH 方法,并有一些改进方法^[8]。对于分布参数系统的辨识问题正在开展研究^[9],主要涉及到地下水流参数的估计问题^[10,11]、热传导问题^[12]、空气污染^[13]、抽水和石油开采引起的地面沉降问题^[14,15],以及地震学中的反演计算问题^[16]。主要讨论的是抛物线型或双曲线型偏微分方程系统^[17]。而岩土工程静态问题由椭圆形偏微分方程描述,对其逆问题的研究以往侧重于参数估计问题,对建模方法和模型辨识理论尚无研究。

1.2.2 岩土工程逆问题研究现状简述

按系统辨识理论的观点,目前岩土工程中逆问题的研究仅解决了给定模型结构的参数估计阶段,而对如何确定最佳模型结构的理论研究尚未开展。在其参数估计的研究工作中,我们可将之分为三大类:

(1) 给定介质模型反演系统边界条件(初始应力场的反演问题)。

(2) 给定介质本构关系和边界条件,估计模型的材料参数。其中,着重研究了如下几个方面:

① 给定介质本构关系的参数估计问题:假定岩土介质为弹性、弹塑性或粘性时的边界条件和(或)材料参数的反演^[21~32]以及参数可辨识性^[83,84]。

② 场域离散化的数值计算技术问题:基于有限元或边界元法等离散技术的一系列反演方法。

③ 目标函数建立方法的研究:最小二乘法、贝叶斯方法^[34,35]、极大似然函数法^[36,38,39],以及强壮性辨识法^[40,41]等概率反分析法^[37]。

④ 优化算法的应用^[42~44]:单纯形法、变量替换法、Rosenbrock 法、共轭梯度法、罚函数法等。

⑤ 扩展的递推估计方法:Kalman 滤波器^[45,46]。

(3) 在应力信息可直接量测条件下的反演问题^[20,47,48]。

由于对大范围非线性场域问题的数值计算处理耗时较多,尚不便用于现场反馈监控

施工^[33],最近又研究了基于时间序列预测方法的差分方程模型^[49]和基于灰色预测理论的常微方程预测模型^[50]。这两种方法实质上是将分布参数系统视为集中参数系统来模拟,且不考虑系统产生外部响应的内部机制。就工程设计和控制施工的目的而言,仍以研究建立分布参数系统模型的辨识方法意义较大。

§ 1.3 本篇内容和主要观点

以系统论的观点看,建立系统模型的方法与人们对系统的认识以及模型的应用目的有关。岩土介质系统逆问题的研究最初是基于固体力学理论开展的,随着目的和认识的不同,又提出了基于纯统计观点的时间序列平滑预报和将某些影响因素视为灰色参数的灰色预测方法。

前已述及,虽然时间序列分析和灰色预测方法用于预报因某些非确定性因素引起的变化是有效的,但对于工程设计和施工预测的目的而言,仍应以固体力学的理论为依据。基于这一观点,本篇主要开展了下列讨论:

(1) 以系统辨识理论和连续介质力学原理为根据,阐述岩土介质系统逆问题的建模原则和方法,认为作为空间介质体应将之视为分布参数系统,用偏微分方程系统(PDESS)模拟较为合理;

(2) 考虑到 PDESS 系统的复杂性,从方法上而言,着重输出与时间无关的静态响应,同时内部系统参量也不随时间变化,为时不变系统逆问题;

(3) 在上述假设条件下,研究了模型结构的特征化方案和参数化方法,并探讨参数优化辨识的原则和目标函数构造方法;

(4) 由于现场位移量测环境的复杂性,位移量测误差可能偏离零均值、同一方差的理想高斯白噪声分布。这时,以往的所有参数估计方案(诸如 Bayes 方法,极大似然法 MLM)都将是有偏离的;若用人工剔除数据又可能带有较大的随意主观性。因此,根据统计估计理论,提出了强壮性目标函数的概念,并研究其建立方法,进一步完善了概率反分析理论;

(5) 鉴于目标函数性态的复杂性,在运用优化技术搜寻合理特征参数组合条件下的最优极值时参数的初始值对算法的收敛速度影响很大,但是借助随机数发生器可较好地解决这一问题;

(6) 对目标函数的优化结果可得到描述岩土介质系统模型的特征参数值以及参数值的误差信息。从理论上讲,如果量测点足够多以致遍及整个无限空间,同时量测以及模型都是精确无误差的,那么这时可判断出岩土介质的模型性质。然而上述条件总是不能满足的,从信息论的观点看,各量测点所反映的信息量也是不尽相同的,为此,本文从信息论的观点出发,并在综合各项建模原则的基础上,提出模型最优决策准则的信息描述方法,然后建立相应的决策分类器,以对特征参数向量分析处理,给出最终模型性质判断;

(7) 根据聚类分析原理,建立模式识别器,以处理多种均匀介质时是否服从统一的模型条件,即不同介质层是否应当用各自互不相同的模型准则;

(8) 作为工程应用,着重研究了将岩土介质视为弹塑性体的情况,将其模型结构特