



华夏英才基金学术文库

林育梁 著

# 岩土与结构工程中不确定性 问题及其分析方法



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

 华夏英才基金学术文库

# 岩土与结构工程中不确定性 问题及其分析方法

林育梁 著

科学出版社

北京

## 序

和社会科学一样,自然科学中也存在着大量的不确定性问题。对不确定性问题的研究是现今科学界的重大研究方向之一。不确定性问题的理论与分析方法学科群的产生和迅速发展,已形成了当代科学发展的一大多姿多彩的景观。作为研究不确定性问题的随机理论和方法,早在 17 世纪就已经出现并极大地推动了事物产生与变化随机性方面的研究,例如,博弈论、信息论、自动控制等都得益于随机理论而有了迅速发展。自 20 世纪以来,研究不确定性问题的理论如雨后春笋般地产生了:1965 年,扎德提出了模糊数学的概念与方法,开创了研究事物模糊性的新纪元,从而结束了经典数学一统天下的时代;1982 年,邓聚龙教授提出的灰色系统理论,以“小样本”、“贫信息”的不确定性系统为研究对象,大大改观了由于信息不足而对不确定性问题的研究无能为力的状况;在 20 世纪 40 年代出现的人工神经网络,到了 80 年代进入高潮,特别适合于处理需要同时考虑多种不确定性因素和条件的、不精确的信息处理问题,对于内部运行机制不够了解的复杂系统,可以通过样本训练与学习,利用神经网络的智能方法来模拟这种复杂系统;60 年代出现的遗传算法,则从生物遗传学的角度出发,探讨了诸多不确定性系统的变化与发展,是研究不确定性系统最优化问题的最好方法之一;同样是在 60 年代出现的混沌理论,被看作是 20 世纪三大科学革命之一,作为与量子力学、相对论齐名的一门重大科学理论,它是研究混沌系统或确定性系统中复杂随机行为的一门子学科;70 年代出现的突变论,研究不确定性事物的突发性,被称作数学界的一项智力革命——在出现微积分之后最重要的发现。上述理论和分析方法的产生和发展,开辟了科学研究的新纪元,给不确定性问题的研究提供了有力的工具和手段,极大地推动了各种不确定性问题的研究和应用及其相关学科的发展。

在岩土与结构工程中,更是存在着诸多不确定性问题。例如,对于材料和工程的物理、数学模型及其有关力学参数的选择;工程可靠性和稳定性问题;工程承载力和变形、沉降预测;工程计算、设计、优化和管理等方面的问题都无一例外地包含各种各样的不确定性。这些问题的存在,极大地增加了解决岩土与结构工程问题的难度,也是研究岩土与结构工程问题必须跨越的一道坎。因此,不确定性的理论及其分析方法研究中的最新成果,为解决岩土与结构工程中存在的大量不确定性信息指明了一条“另辟蹊径”的大方向,同样,它也是岩土与结构工程学科研究与发展中的一项重大课题。近三四十年来,国内外学者对岩土与结构工程中不确定性问题的研究已取得了大量的成果,这些研究成果被广泛反映在不同类别的研究报

告、学术论文和专业书刊中,在一段时期曾成为岩土与结构工程学界研究的主流之一。

从 20 世纪 90 年代初起,广西大学林育梁教授潜心致力于岩土与结构工程中不确定性问题的理论与分析方法的系统研究、应用和研究生教学工作。他在不确定性问题理论基础、模糊有限元和模糊反分析、岩土边坡模糊稳定性、模糊数和贴近度及灰色关联度人工神经网络和智能计算等方面的研究,都取得了丰富的学术成果并有相当的创意特色。在本书中,林育梁教授除了介绍自己的研究成果并阐述了各个方面的不确定性分析方法以外,还大量而广泛地收集了国内外关于这方面的研究进展,较为系统而全面地进行了论述和总结,给出很多工程应用实例,展现了这一学科领域发展的新貌。可以说,这是国内外第一本全面总结岩土与结构工程中不确定性问题和分析方法研究与应用进展的学术专著。本书的付梓问世,无疑既具有丰富的学术理论内涵,又有重要的工程应用价值,会对岩土与结构工程中诸多不确定性问题分析方法的研究起到有益的推动作用,作出积极的贡献,这是十分可贵的。相信本书的出版会使广大读者受益匪浅,这也应是可以预期的。

孙钧

同济大学资深荣誉教授,中国科学院院士

戊子年于上海同济园

## 前 言

当前,不确定性理论的研究蓬勃发展,一个个新的学科如雨后春笋般涌现。概率论早在 17 世纪就产生了,随后数理统计和随机过程的出现拓宽了随机理论的范畴;20 世纪 40 年代,具有自学习、自组织和自适应性的神经网络兴起,它模仿人脑的结构和功能创立的信息处理系统,是智能科学的重大发展;1965 年美国科学家创立了模糊数学,引导人们从精确世界进入了模糊世界;也是在 60 年代,作为 20 世纪三大科学革命之一的混沌理论又帮助人们解开了混沌世界迷宫的秘密;70 年代,突变理论出现,开拓了研究突变现象的途径;同样在 70 年代提出的遗传算法,模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程,形成一种自适应全局优化概率搜索算法,将数学、计算机与生物学结合在一起;灰色系统理论是我国著名学者邓聚龙教授 1982 年创立的,是我国对不确定性理论发展的重大贡献;80 年代创立的粗糙集理论,是研究模糊性、不完整性和不确定性的另一种数学工具;随后,也产生了一些不确定性的理论,如核函数和主曲线等。今后,随着人类的探索和社会的进步,不确定性理论还将会不断发展、不断深入、不断完善和创新。

岩土与结构工程同其他科学和工程领域一样,也存在着大量的不确定性问题。主要表现在:岩土与结构工程中概念的不确定性;岩土与结构分类的不确定性;岩土与结构材料本构模型及其参数的不确定性;岩土与结构工程荷载与边界条件的不确定性;岩土与结构工程计算模型及计算方法的不确定性;岩土与结构工程变形及破坏规律的不确定性;岩土与结构工程量测误差引起的不确定性;岩土与结构工程设计 and 施工优化的不确定性;岩土与结构工程反分析中的不确定性等。为了解决岩土与结构工程中这些不确定性问题,必须将近代科学中涌现的各种不确定性理论应用于工程实践中,并不断地发展创新。多年以来,特别是近三四十年来,国内外学者对岩土与结构工程中不确定性问题的研究已取得了丰硕的成果,在一段时期成为了岩土与结构工程学界研究的主流之一。迄今为止,岩土与结构工程中随机性研究成果显著;模糊性研究已取得相当大的突破;灰色性研究逐渐铺开;神经网络智能化研究普遍开花;遗传方法在优化问题上显示了巨大的优越性;突变、混沌和粗糙集理论等的应用方兴未艾;而以上各种理论的耦合应用更是强劲展开。

从 20 世纪 90 年代初起,我一直致力于岩土与结构工程中不确定性问题的理论与应用的研究和教学工作。1991~1993 年,在澳大利亚做访问学者期间,就从事模糊有限元和模糊边界元的研究;1993~1994 年,在国际岩石力学与工程学会

前主席日本樱井春浦教授指导下从事模糊反分析的研究;回国以后,继续研究这方面的问题,而且长期在研究生中开设岩土与结构工程不确定性分析方法课程。本书除了论述各种不确定性理论的基本原理、基本计算和基本分析方法以外,还介绍了本人的研究成果,主要包括:不确定性类型研究;岩土与结构工程中不确定性现象研究;模糊区间数及其运算;隶属函数的建立方法;模糊模式识别与面积重叠贴近度及其应用;模糊有限元法及其应用;模糊边界元法及其应用;岩土工程模糊分析;岩土工程模糊反分析方法;模糊边坡稳定性分析方法;系统模糊可靠度计算方法;遗传-有限单元智能计算方法;混沌-有限元智能计算方法;遗传-神经网络-有限单元智能计算方法;灰关联神经网络法等。本书广泛地收集了国内外关于该领域的最新研究进展,系统地进行了论述和总结,给出很多工程应用实例,展现了这一学科发展的最新面貌。希望本书的出版能起到抛砖引玉的作用,在广大研究者的共同努力下,推动岩土与结构工程中不确定性问题的研究向前发展。

衷心感谢日本樱井春浦教授和澳大利亚 Little 教授为本书的研究所提供的指导和帮助。本书的撰写得到了中国科学院院士、同济大学资深荣誉教授孙钧先生的鼓励和指导,并在百忙中为本书写了序,在此表示万分的感谢。秦荣教授也对本书的出版给予大力的支持,在此表示衷心感谢。

范秋雁教授、张信贵教授、易念平高工、黄新民教授、韦立德博士、李婉博士和叶朝良博士等,以及研究生卢丹玫、徐艳华、张艳刚、安彦勇、胡涛、杨二静、陈小亮、杨扬和韦灵静等参加了相关课题的研究和部分章节的编写,为本书的出版作出了贡献。

感谢华夏英才基金和广西大学结构工程国家重点学科及“工程防灾与结构安全”教育部和广西重点实验室对本书出版的资助。

由于作者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者不吝赐教。

作者

2008年6月

# 目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 不确定性的概念	1
1.2 不确定性的类型	3
1.2.1 不确定性主客观分类	3
1.2.2 不确定性现象分类	4
1.3 不确定性研究的目的和内容	9
1.3.1 研究目的	9
1.3.2 研究内容	11
1.4 不确定性理论概述	14
1.5 岩土与结构工程中的不确定性问题	24
1.6 不确定性优化与数学规划概述	29
参考文献	32
第 2 章 随机理论及其在岩土与结构工程中的应用	35
2.1 概率论	35
2.1.1 概率和概率空间	35
2.1.2 随机变量的概念	36
2.1.3 随机变量的分布函数	37
2.1.4 随机变量的概率分布密度	38
2.1.5 随机变量的数字特征	39
2.1.6 随机变量的 $k$ 阶矩和中心矩	40
2.1.7 随机向量与随机变量的函数	41
2.1.8 熵	41
2.2 随机过程	41
2.2.1 随机过程的概念及分类	41
2.2.2 随机过程的分布函数及密度函数	42
2.2.3 随机过程的数字特征	43
2.2.4 随机场	44

2.2.5	几种常见的随机过程的分布律	44
2.3	数理统计	45
2.3.1	经典统计	45
2.3.2	贝叶斯统计	47
2.4	岩土与结构工程随机分析方法	48
2.4.1	随机模拟方法	49
2.4.2	摄动随机分析方法	50
2.4.3	正交展开理论的随机结构分析	51
2.4.4	随机有限元法	52
2.4.5	随机边界元法	56
2.5	随机工程参数分析与选择	57
2.5.1	参数的概率统计分析	57
2.5.2	材料参数的随机场模型	59
2.5.3	参数随机反分析	61
2.6	工程一般随机分析	65
2.7	结构工程可靠性分析	68
2.7.1	单个结构的可靠性分析	68
2.7.2	结构工程系统可靠度	75
2.7.3	结构可靠性研究进展	78
2.8	岩土工程稳定可靠性分析	79
2.8.1	边坡稳定可靠性分析	79
2.8.2	地下工程稳定可靠性分析	81
2.8.3	基础工程可靠性分析	82
2.9	随机工程优化设计	85
2.9.1	基于可靠度的优化设计	85
2.9.2	结构稳健性优化设计	88
2.9.3	随机数学规划	89
2.10	随机工程建模	90
2.11	小结	93
2.11.1	可靠性理论及其应用	93
2.11.2	随机反分析研究	95
2.11.3	随机有限元法展望	95
2.11.4	随机结构系统建模	96
	参考文献	97



第3章 模糊数学及其在岩土与结构工程中的应用	111
3.1 模糊集合论基础	111
3.1.1 模糊集合的概念	111
3.1.2 模糊集合的运算	112
3.1.3 模糊集合的分解定理	116
3.1.4 模糊扩张原理与模糊数	117
3.1.5 隶属函数的建立	122
3.1.6 模糊集合的贴近度与模糊度	127
3.1.7 模糊模式识别	130
3.1.8 可能性理论	132
3.2 模糊关系与模糊聚类分析	133
3.2.1 模糊关系及其运算	133
3.2.2 模糊关系的性质	135
3.2.3 模糊等价关系与传递闭包	136
3.2.4 模糊相似关系	137
3.2.5 模糊矩阵	137
3.2.6 模糊图	139
3.2.7 模糊聚类分析	141
3.3 模糊综合评判	144
3.3.1 模糊映射与模糊变换	144
3.3.2 模糊综合评判	145
3.4 模糊有限单元法	147
3.4.1 基于模糊区间数运算的模糊有限单元法	148
3.4.2 基于小参数二阶摄动法的模糊有限元法	156
3.5 模糊边界元法	157
3.5.1 间接边界元法简介	157
3.5.2 基于模糊区间数运算的模糊边界元法	159
3.6 与模糊分析耦合使用的几种常用分析方法	163
3.6.1 层次分析法	163
3.6.2 二元对比法	163
3.6.3 模糊物元分析法	164
3.6.4 德尔菲(Delphi)方法及带信任度的德尔菲法	166
3.7 模糊工程参数和材料类型的确定	166
3.7.1 模糊工程参数确定	166

111	3.7.2 材料类型确定的模糊分析方法	173
111	3.8 模糊工程稳定性分析	178
111	3.8.1 边坡稳定性模糊分析	179
111	3.8.2 地下工程稳定性模糊分析	184
111	3.9 模糊工程灾变分析	186
111	3.9.1 工程震灾模糊分析	187
111	3.9.2 地下洞室岩爆烈度的模糊分析方法	190
111	3.10 模糊工程优化设计	191
111	3.10.1 结构模糊优化设计	192
111	3.10.2 工程设计方案模糊优化选择	197
111	3.10.3 模糊数学规划	199
111	3.11 小结	201
111	3.11.1 岩土与结构工程中常用的模糊分析方法及其应用领域	201
111	3.11.2 应用模糊分析方法时常遇到的几个问题	202
111	3.11.3 研究展望	203
111	参考文献	204
	<b>第4章 灰色系统理论及其在岩土与结构工程中的应用</b>	<b>213</b>
111	4.1 灰色系统的数据处理和灰关联分析	213
111	4.1.1 灰色系统的描述	213
111	4.1.2 数据处理累加生成法和累减生成法	214
111	4.1.3 灰色关联分析	214
111	4.2 灰色聚类	216
111	4.2.1 灰色关联聚类	216
111	4.2.2 灰类白化权函数聚类	217
111	4.3 灰色系统建模	218
111	4.3.1 GM(1,1)模型	218
111	4.3.2 GM(1,N)模型	225
111	4.3.3 GM(2,1)模型	226
111	4.3.4 GM(n,h)模型及灰色流变模型 GRM(n,h)	228
111	4.3.5 GM(0,h)模型及 GAM(0,h)模型	229
111	4.4 灰色预测与灰色决策	229
111	4.4.1 灰色预测	229
111	4.4.2 灰色决策	231
111	4.4.3 灰色数学规划	234

4.5	灰色工程参数与因素分析及分类	236
4.5.1	工程参数选择或优化	236
4.5.2	工程影响因素分析	236
4.5.3	灰色分类	237
4.6	灰色基础工程分析预测	239
4.6.1	深基坑变形与位移的灰色分析	239
4.6.2	桩基工程的灰色分析	241
4.6.3	地基沉降和承载力的灰色预测	242
4.7	灰色工程变形及稳定性分析预测	244
4.7.1	地下工程变形与稳定性的灰色分析预测	245
4.7.2	边坡工程变形与稳定性的灰色分析方法	247
4.8	灰色工程灾变分析预测	248
4.9	灰色工程优化设计	250
4.10	小结	252
4.10.1	灰色关联分析的应用与改进	253
4.10.2	白化权函数聚类分析评价	253
4.10.3	灰色建模与预测问题	253
4.10.4	灰色优化设计	254
4.10.5	灰色分析方法研究展望	255
	参考文献	255
<b>第5章</b>	<b>人工神经网络及其在岩土与结构工程中的应用</b>	<b>261</b>
5.1	人工神经网络基础	261
5.1.1	人工神经网络处理单元	262
5.1.2	人工神经网络的拓扑结构	263
5.1.3	人工神经网络学习	265
5.1.4	神经网络的工作方式	266
5.2	前馈神经网络	268
5.2.1	BP神经网络	268
5.2.2	径向基网络	273
5.2.3	小波神经网络	275
5.3	反馈神经网络	277
5.3.1	Hopfield网络	277
5.3.2	递归神经网络	285
5.4	随机神经网络	288

5.4.1	模拟退火算法	288
5.4.2	玻尔兹曼机	289
5.5	自组织神经网络	291
5.5.1	自组织特征映射神经网络	291
5.5.2	自共振神经网络	292
5.5.3	对向传播神经网络	295
5.6	神经网络的应用开发设计与实现	296
5.6.1	ANN 应用开发设计	296
5.6.2	神经网络的实现	298
5.7	神经网络在工程参数选择与模式识别及分类中的应用	299
5.7.1	应用神经网络进行工程参数选择与模式识别	299
5.7.2	岩土与结构材料分类的判别	303
5.8	神经网络在桩基工程中的应用	306
5.8.1	预测桩基极限承载力	306
5.8.2	单桩荷载-位移关系	309
5.8.3	桩身完整性判定	311
5.8.4	应用小结	312
5.9	神经网络在基坑工程中的应用	313
5.10	神经网络在工程稳定性分析与沉降预测中的应用	318
5.10.1	边坡稳定性神经网络分析	318
5.10.2	地下工程稳定性神经网络分析	319
5.10.3	地表沉陷的预测	321
5.10.4	地基沉降预测	322
5.11	神经网络在工程灾变问题中的应用	323
5.11.1	砂土液化评价的神经网络方法	323
5.11.2	工程地震灾变中的神经网络方法	325
5.11.3	岩爆问题的神经网络方法	329
5.12	神经网络在工程优化设计中的应用	330
5.12.1	应用 BP 网络优化设计	331
5.12.2	应用 Hopfield 神经网络优化设计	332
5.13	小结	335
5.13.1	前馈网络的应用	335
5.13.2	反馈网络的应用	339
5.13.3	随机神经网络的应用	342

5.13.4	自组织神经网络的应用	342
	参考文献	343
<b>第6章</b>	<b>遗传算法及其在岩土与结构工程中的应用</b>	<b>355</b>
6.1	基本遗传算法	355
6.1.1	遗传算法的基本思路	355
6.1.2	基本遗传算法的运算步骤和计算流程	356
6.1.3	基本遗传算法的编码和解码	357
6.1.4	适应度及其变换	357
6.1.5	基本遗传算子	359
6.1.6	遗传算法的运行参数	365
6.1.7	约束条件的处理方法	366
6.2	其他类型遗传算法	367
6.2.1	其他编码方法	367
6.2.2	其他遗传算子	370
6.2.3	其他遗传算法	372
6.3	遗传-有限元智能计算方法	376
6.4	遗传工程参数及本构模型识别	381
6.4.1	遗传工程参数识别	381
6.4.2	遗传本构模型辨识	384
6.5	遗传结构工程优化设计	387
6.5.1	结构截面面积遗传优化	387
6.5.2	拓扑和形状遗传优化	389
6.5.3	抗震结构智能优化设计和布局、类型遗传优化	392
6.6	遗传岩土工程优化设计	392
6.6.1	地基基础遗传优化设计	392
6.6.2	深基坑工程遗传优化设计	393
6.7	遗传地基基础工程分析	395
6.7.1	地基承载力和沉降遗传分析	395
6.7.2	基础承载力和沉降遗传分析	399
6.8	遗传工程稳定性分析	400
6.8.1	地基整体稳定性遗传分析	401
6.8.2	深基坑稳定性遗传分析	402
6.8.3	边坡稳定性遗传分析	402
6.9	小结	405

6.9.1	遗传分析方法应用领域	405
6.9.2	遗传分析方法应用评价及展望	406
	参考文献	408
<b>第7章</b>	<b>其他不确定性理论及其在岩土与结构工程中的应用</b>	<b>414</b>
7.1	突变理论及其在岩土与结构工程中的应用	414
7.1.1	突变理论基础	414
7.1.2	突变理论在岩土与结构工程的应用现状	420
7.1.3	突变理论的应用展望	429
7.2	混沌理论及其在岩土与结构工程中的应用	430
7.2.1	混沌理论的基本概念	430
7.2.2	混沌分析技术	432
7.2.3	混沌-有限元智能计算方法	438
7.2.4	混沌控制技术	441
7.2.5	混沌理论在岩土与结构工程中的应用	443
7.2.6	混沌理论在岩土与结构工程中的应用展望	448
7.3	粗糙集及其在岩土与结构工程中的应用	448
7.3.1	粗糙集基础	448
7.3.2	粗糙集理论在岩土与结构工程中的应用	453
	参考文献	455
<b>第8章</b>	<b>各种不确定性分析的耦合及其在岩土与结构工程中的应用</b>	<b>464</b>
8.1	模糊随机分析及其在岩土与结构工程中的应用	464
8.1.1	用随机模糊方法确定或处理材料参数	464
8.1.2	模糊可靠度分析	466
8.1.3	随机模糊方法进行灾变预测	473
8.2	随机神经网络分析及其在岩土与结构工程中的应用	474
8.2.1	随机神经网络分析方法在结构工程中的应用	474
8.2.2	岩土工程可靠性神经网络分析	478
8.3	模糊神经网络及其在岩土与结构工程中的应用	479
8.3.1	模糊神经网络简述	479
8.3.2	模糊神经网络在岩土与结构工程中的应用	482
8.4	灰色神经网络及其在岩土与结构工程中的综合应用	484
8.5	随机遗传分析及其在岩土与结构工程中的应用	489
8.5.1	遗传算法在可靠度分析中的应用	489
8.5.2	遗传算法在结构(系统)可靠性优化中的应用	491

---

8.6 遗传神经网络及其在岩土与结构工程中的应用 .....	492
8.6.1 进化神经网络 .....	493
8.6.2 神经网络进化遗传算法 .....	500
8.6.3 遗传算法与神经网络协同求解问题 .....	501
8.6.4 遗传-神经网络-数值智能计算方法 .....	504
8.6.5 遗传神经混合算法的研究方向 .....	508
8.7 混沌神经网络及其在岩土与结构工程中的应用 .....	509
8.7.1 混沌神经元网络和混沌神经网络概要 .....	510
8.7.2 混沌优化神经网络 .....	511
8.7.3 混沌神经网络在岩土与结构工程中的应用 .....	512
8.7.4 混沌神经网络应用展望 .....	513
8.8 其他不确定性分析方法的结合及其在岩土与结构工程中的应用 ...	513
8.8.1 灰色模糊分析方法 .....	513
8.8.2 粗集神经网络及其在岩土与结构工程中的应用 .....	516
8.8.3 混沌时间序列及其在岩土与结构工程中的应用 .....	516
8.8.4 混沌遗传算法及其在岩土与结构工程中的应用 .....	517
8.8.5 混沌突变分析及其在岩土与结构工程中的应用 .....	518
参考文献 .....	518

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 不确定性的概念<sup>[1~20]</sup>

确定性(certainty)是指事物在客观和主观上能完全明确确定的属性。例如,事物的类属能明确确定,非此即彼,界线分明;客观事物的发生和变化有规律可循,有确定的因果关系;在客观上,描述客观事物及其变化的量能精确测量和精确确定;人们在主观上能完全精确认知客观世界,即科学终将完全认知客观事物发生和发展的规律性,因而也肯定能完全准确预见客观事物将来的发展等。

不确定性(uncertainty)与确定性是一对相反的概念,所谓不确定性是指事物在客观或主观上不能完全明确确定的属性。例如,事物的类属不能明确确定,亦此亦彼,界线不分明;客观事物的发生和变化不确定,运行没有必然的规律,运行的结果有多种可能性,可能产生这种结果,也可能产生另一种结果,没有必然的结果,也没有确定的因果关系;描述客观事物的有些量客观上不能精确测量与精确确定;在主观认知上也存在不确定性,这是由于客观事物运行没有规律性或客观事物太复杂,从而使人们产生模糊和灰色的概念,所知道的信息不完备、所建立的理论具有粗糙性、计算的结果不精确及不能完全准确预见客观事物的发展等,也就是说人们主观上不能完全明确确定客观事物。

世界到底是确定性的还是不确定性的?长期以来这是一个有争议的问题。关于这个问题最典型的争论发生在 20 世纪两个最伟大的科学家爱因斯坦和玻尔之间,“我不相信伟大的上帝是在掷骰子”,相对论的发明者爱因斯坦面对物理学的另一个分支量子力学揭示的自然运行的不确定性时这样表达他的信念;玻尔则认为“我们不能断言上帝该做些什么”<sup>[1]</sup>。

确定论只承认确定性的存在。科学理论,特别是因牛顿万有引力论的成功而形成的经典力学,使得确定论者认为,客观世界本质上是按照一种规则以一个确定的轨迹运行的,宇宙是完全被决定的,只要掌握客观运动规律,并已知所研究系统的初始状态,就能精确地预测该系统的将来,因此宇宙存在一组科学定律,只要完全知道宇宙在某一时刻的状态,便能以此预言宇宙中将会发生的任一事件。例如,假定知道某一个时刻太阳和行星的位置和速度,则可用牛顿定律计算出在任何其他时刻太阳系的状态。而且,由于客观事物的确定性,人们不但在主观上能完全认知客观世界,人们的概念、理论、分析和预测等都应该精确,为此,产生了很多确定



性的科学理论。在经典力学基础发展起来的经典物理,就是确定性的经典理论;与经典力学和经典物理相对应的是经典数学,也是确定性的理论。经典数学是在具有精确概念、可以精确计算并要求得到精确结果的基础上发展起来的。很多社会科学也具有确定性,例如,经典法律就要求有确定性。确定论者认为,所谓的不确定只是因为我们的肤浅和观察的变量不充分,不是客观的存在。在确定论的观点下,人类的命运观显而易见是宿命论,因为一切都是确定的,就像一切都是命运安排好了或上帝安排好了一样。

可以说,20世纪之前,确定论一直占据统治地位。确定论的观点是人们唯一的世界观。从牛顿到拉普拉斯再到爱因斯坦,描绘的都是一幅幅完全确定的科学世界图景。拉普拉斯在《概率论的哲学探索》中说到“智慧如果能在某一瞬间知道鼓动着自然界的一切力量,知道大自然所有组成部分的相对位置,并且,如果它是如此浩瀚,足以分析这些材料,并能把上至庞大的天体,下至微小的原子的所有运动系数囊括于一个公式之中,那么,对于它来说,就没有什么东西知道了,无论在将来还是过去,在它面前都会昭然若揭。”爱因斯坦也认为:“根据世界在某一时刻的状态,应该无歧义地得出它在过去和未来的一切状态”。

但是,刚刚过去的20世纪的科学发展却证明,大自然的运行确实存在着大量的不确定性因素。在自然科学、社会科学和工程科学中都存在着大量的不确定性。

确定论的信念必须被抛弃的一个最初的征兆,是由英国科学家瑞利勋爵和詹姆斯·金斯爵士所做的计算,他们指出一个热的物体,例如,恒星必须以无限大的速率辐射出能量。按照当时我们所相信的定律,一个热体必须在所有的频段同等地发出电磁波(如无线电波、可见光或X射线)。而既然波的频谱是无限的,这意味着辐射出的总能量必须是无限的。为了避免这显然荒谬的结果,德国科学家马克斯·普朗克在1900年提出,光波、X射线和其他波不能以任意的速率辐射,而必须以某种称为量子的形式发射。并且,每个量子具有确定的能量,波的频率越高,其能量越大。这样,在足够高的频率下,辐射单独量子所需要的能量比所能得到的还要多。因此,在高频下辐射被减少了,物体丧失能量的速率变成有限的了。量子假设可以非常好地解释所观测到的热体的发射率。1926年德国科学家威纳·海森堡提出了著名的不确定性原理。为了预言一个粒子未来的位置和速度,人们必须能准确地测量它现在的位置和速度。显而易见的方法是将光照到这个粒子上,一部分光波被此粒子散射开来,由此指明它的位置。然而,人们不可能将粒子的位置确定到比光的两个波峰之间距离更小的程度,所以必须用短波长的光来测量粒子的位置。现在,由普朗克的量子假设,人们不能用任意少的光的数量,至少要用一个光量子。这个量子会扰动粒子,并以一种不能预见的方式改变粒子的速度。而且,位置测量得越准确,所需的波长就越短,单独量子的能量就越大,这样粒子的速度就被扰动得越厉害。换言之,对粒子的位置测量得越准确,对速度的测量就越